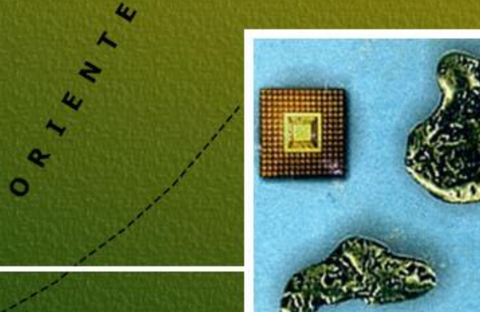
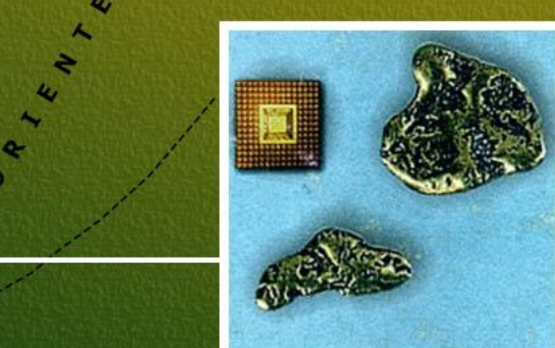
Manual de Exploración de Depósitos Metalíferos en el Ecuador



MANUAL DE EXPLORACIÓN DE DEPÓSITOS METALÍFEROS















Banco Mundial
Departamento de Minería

MINISTERIO DE ENERGÍA Y MINAS
SUBSECRETARIA DE MINAS

JUNIO 2000

Evaluación de Distritos Mineros del Ecuador

MINISTERIO DE ENERGÍA Y MINAS

Subsecretaria de Minas

Dirección Nacional de Geología

PROYECTO DE DESARROLLO MINERO Y CONTROL AMBIENTAL

MANUAL DE EXPLORACIÓN DE DEPÓSITOS METALÍFEROS EN EL ECUADOR

JUNIO 2000











PATRI MATRIQUE

EVALUACIÓN DE DISTRITOS MINEROS DEL ECUADOR. (Colección)

MANUAL DE EXPLORACIÓN DE DEPÓSITOS METALÍFEROS EN EL ECUADOR

PRODEMINCA, realiza esta publicación que reproduce el informe presentado por British Geological Survey (BGS), bajo el mismo nombre.

Quienes necesiten conocer información adicional pueden consultar la base de datos que mantiene la Dirección Nacional de Geología (DINAGE) en el Ministerio de Energía y Minas

1SBN-9978-41-375-8 (colección)
ISBN-9978-41-370-7 (volumen)

Publicado por:
UCP PRODEMINCA Proyecto MEM BIRF ***36-55*** *EC.*

Quito Junio del 2000
1ra. edición
Impreso en Ecuador.

Diseño de Portada y Diagramación Interior: Ajedrez Estudio Gráfico
Impresión: Noción

STALYN PAUCAR

EDICIÓN 2025

PRODEMINCA (2000) *Manual de Exploración de Depósitos Metalíferos en el Ecuador* (Stalyn Paucar, Ed., 2025). Evaluación de Distritos Mineros del Ecuador. Quito-Ecuador

ÍNDICE

FIGURAS

TABLAS

FOTOS

PREFACIO

Los esfuerzos por conocer mejor los recursos minerales del Ecuador deben difundirse de la mejor manera, incrementando la escasa bibliografía existente sobre aspectos geológicos y mineros. Por esta razón, se presentan los cinco volúmenes y el Manual de Exploración que sintetizan el estudio realizado por BGS y DINAGE, como parte del PRODEMINCA.

Estos estudios constituyen un aporte al conocimiento minero del país. Cada uno de los campos minerales son descritos en detalle, cubriendo todos los aspectos que permiten estimar el potencial mineralógico del sector. De esta forma se describe en detalle el ambiente tectónico regional y local, las litologías dominantes, los rasgos estructurales y la mineralización metalífera. Cada capítulo se complementa con gráficos y fotografías.

Para ilustrar cada caso, los autores han seleccionado depósitos ubicados, en lo posible, en ambientes diferentes; así para exponer el caso de los yacimientos epitermales de alta sulfuración, se mencionan Quimsacocha y el Mozo. Para el mismo tipo de yacimiento, pero de baja sulfuración se cita como referentes los depósitos de Beroen y Gañarín. Los sulfuros masivos alojados en volcanitas tienen su expresión en los depósitos de La Plata y Guarumales y como prototipos de los depósitos porfídicos se acude a Gaby-Papa Grande, Chaucha, Junín y San Carlos. No podía faltar en la lista los yacimientos de Zaruma-Portovelo como ejemplos de un sistema de vetas epi-mesotermales relacionado con intrusiones, igual que los campos mineros de Bella Rica y San Gerardo. Como casos de yacimientos de skarn se alude a Nambija y como yacimientos de chimeneas de brechas mesotermales los depósitos confinados en la franja Gañarín.

Cada depósito es ubicado con base en los datos obtenidos en el Programa de Información de Cartografía Geológica (PICG) de la Cordillera Occidental y a la información aportada por empresas concesionarias. La información regional permite elaborar y presentar modelos que expliquen la génesis, la geometría del yacimiento y la química del sistema, tomando en cuenta la cinemática de los esfuerzos. La información local en detalle suele ratificar los modelos descritos con datos obtenidos de los núcleos de sondeos, resultados analíticos de laboratorio y levantamientos geológicos, geoquímicos y geofísicos a escala de exploración.

Toda esta información ha sido complementada por los autores, con los generados por el empleo de nuevos instrumentos y métodos de análisis como el PIMA (Analizador portátil de luz infrarroja de minerales), la hidrogeoquímica y los análisis de lixiviación por enzimas.

Uno de los aspectos interesantes del estudio se refiere a la identificación de los halos de alteración y su relación con los modelos metalogenéticos propuestos. De hecho, algunos programas de exploración para prospectos ubicados en las estribaciones de las Cordilleras Occidental y Real, deberían revisarse en función de las conclusiones expuestas.

Los resultados de la aplicación de los métodos mencionados están expuestos en Apéndices que no se encuentran integrados a los volúmenes, pero que se hallan a disposición de quienes deseen profundizar el tema, en las oficinas de la DINAGE y a través de la página web: www.mineriaecuador.com[1], donde también serán bienvenidos sus comentarios respecto a estas publicaciones.

Expreso el mayor agradecimiento al personal de BGS, DINAGE y a todos quienes trabajaron en este estudio, a las empresas y técnicos ecuatorianos que entregaron información, a mis compañeros que con gran paciencia leyeron una y otra vez los textos hasta lograr una mejor edición, que ahora ponemos a su consideración.

Antonio Bermeo

Coordinador General

PRODEMINCA

[1] Página web no disponible (Paucar, 2025)

INTRODUCCIÓN

La República del Ecuador, se encuentra en América del Sur entre Colombia y Perú sobre la costa del Océano Pacífico, extendiéndose a ambos lados de la línea ecuatorial; cuenta con significativos recursos minerales, muchos de los cuales aún no han sido desarrollados ni evaluados en su totalidad. A diferencia de países cercanos como Perú, Chile y Bolivia, la industria minera en el Ecuador aún no se ha desarrollado. Se estima que la producción de oro oscila entre 8-10 toneladas por año y el aporte de la minería en el PIB es menor al 1 %. Frente a la necesidad de diversificar la economía del país, en años recientes ha existido un incremento en el interés por la ejecución de proyectos mineros considerando que la minería ofrece oportunidades de empleo, desarrollo regional y puede llegar a ser una importante fuente generadora de divisas.

La minería en los Andes ecuatorianos se ha practicado desde los tiempos preincaicos, localizándose los principales centros de producción de oro en roca-dura en el cinturón Nambija y los campos de mena de Ponce Enríquez y Zaruma-Portovelo. La mayoría de los trabajos de minería han sido y son desarrollados por el sector informal, aunque en años recientes es posible observar la presencia de pequeñas compañías dotadas de mejores prácticas tecnológicas y administrativas.

Entre los obstáculos que enfrentan los esfuerzos de exploración puede citarse: escasa accesibilidad, profundos perfiles de meteorización, extensos recubrimientos de talud/coluvial y de depósitos volcánicos recientes y una densa cobertura vegetal.

No obstante, existen razones convincentes para asegurar que en Ecuador existe un gran potencial minero inexplotado. Estas incluyen:

- La posición favorable del país a lo largo de la costa oriental del Pacífico, dentro de un régimen más o menos clásico de tectónica de placas.
- Los indicios de oro aluvial en mucho del drenaje de la Cordillera ecuatoriana, demostrando de este modo que las fuentes primarias se mantienen ocultas.
- Ecuador posee minas de roca-dura que históricamente han producido ingentes cantidades de oro (ej. Zaruma-Portovelo ca. 160t; Nambija ca. 62t).
- Se estima que el total de los recursos en 16 de los depósitos más grandes en el Ecuador alcanzan >700t Au, >1600t Ag y >1500000t Cu.

La provisión de información geológica confiable es un requerimiento fundamental para la identificación de blancos favorables y la iniciación de programas de exploración. Parte de la campaña del gobierno por atraer inversión extranjera en el sector minero ecuatoriano ha sido la puesta a disposición de una base de datos geológicos exhaustiva que ayude no solo a la exploración mineral sino también a la planificación de usos de suelo, de aprovechamiento de recursos, de evaluaciones ambientales y de riesgos geodinámicos.

Este manual es uno de los productos generados en la ejecución de un proyecto de evaluación de distritos mineros seleccionados en la Cordillera Occidental de los Andes ecuatorianos, con una duración de 2 años. La información aquí provista, conjuntamente con los informes técnicos de los distritos mineros y paquetes exhaustivos de datos digitales geológicos, geoquímicos y geofísicos permitirán a las compañías mineras optimizar estrategias de exploración y seleccionar nuevos potenciales objetivos para búsqueda de mineralización metalífera.

1

SITUACIÓN POLÍTICA, ECONÓMICA Y LEGAL

1.1 Antecedentes políticos y económicos

Geográficamente el Ecuador está compuesto de cuatro regiones: Sierra (o Cordillera Andina), Costa (o Llanura Costeña), Oriente (o región Amazónica) y Región Insular (Islas Galápagos, ubicadas a 1100 km del continente). La Sierra se extiende en sentido N-S a lo largo de 720 km, con elevaciones que alcanzan alturas mayores a 5000 msnm. El valle interandino emplazado entre dos altas cordilleras de la Sierra, constituye la zona de mayor concentración poblacional y de desarrollo de actividades como la agrícola-pecuaria, industrial y comercial. La llanura costeña es un área importante para la producción agrícola, pesquera y de acuacultura (camarones entre otros). Los principales cultivos comerciales de exportación son banano, cacao, café, camarón y flores. El Oriente se encuentra escasamente poblado, pero es importante en la producción de petróleo. El sector agrícola es el que capta mayor volumen de mano de obra. La población económicamente activa crece más rápido que la población total y el desempleo y subempleo son muy altos. El 60.5% de la población vive en los centros urbanos; el puerto de Guayaquil es la ciudad más grande del país. En años recientes, el turismo ha llegado a tener cada vez más importancia, situándose en el cuarto lugar como agente en la generación de divisas luego del petróleo, banano y camarón.

Tabla 1. Datos Generales

Categoría	Descripción
Área	256370 km^2
Población	12336572 (1998 est.)
Crecimiento de población	1.86% (1998 est.)
Fuerza laboral	3829269 (1996 est.)
Densidad	48 hab/km^2
Capital	Quito (1100847 habitantes, 1990)
Puerto principal	Guayaquil (1508444 habitantes, 1990)
Población urbana	60.5%
Lenguaje	Español, lenguas amerindias, especialmente Quechua
Alfabetismo	85.8%
GNP p/cápita	US$ 1310
Moneda	Sucre (S/.) (Se ha iniciado el proceso de dolarización)
Régimen político	Democracia representativa
Productos principales de exportación	Petróleo, bananas, camarones, café, cacao, flores, frutas tropicales

Las Islas Galápagos son parque nacional. Adicionalmente, un 18% del territorio nacional forma parte del sistema nacional de áreas protegidas. Turismo y medio ambiente han tomado fuerza en los últimos años, creando una corriente de pensamiento proclive al manejo sustentable de los recursos naturales (ver Cap. 3).

De acuerdo con la Constitución Política de la República del Ecuador, reformada por la Asamblea Nacional Constituyente en junio de 1998, el Ecuador es un estado social de derecho, soberano, unitario, independiente, democrático, pluricultural y multiétnico.

La función ejecutiva se encuentra a cargo del Presidente y Vicepresidente de la República, elegidos por votación popular para un período de cuatro años. El Presidente nombra su gabinete, integrado por ministros y subsecretarías de Estado. En cada una de las provincias (ver Fig. 1) con excepción de Pichincha donde está la capital, Quito, hay un Gobernador que representa al Presidente de la República a nivel local.

Existe en cada provincia un régimen de elección popular de gobiernos seccionales autónomos, ejercido por los consejos provinciales, los concejos municipales y las juntas parroquiales.

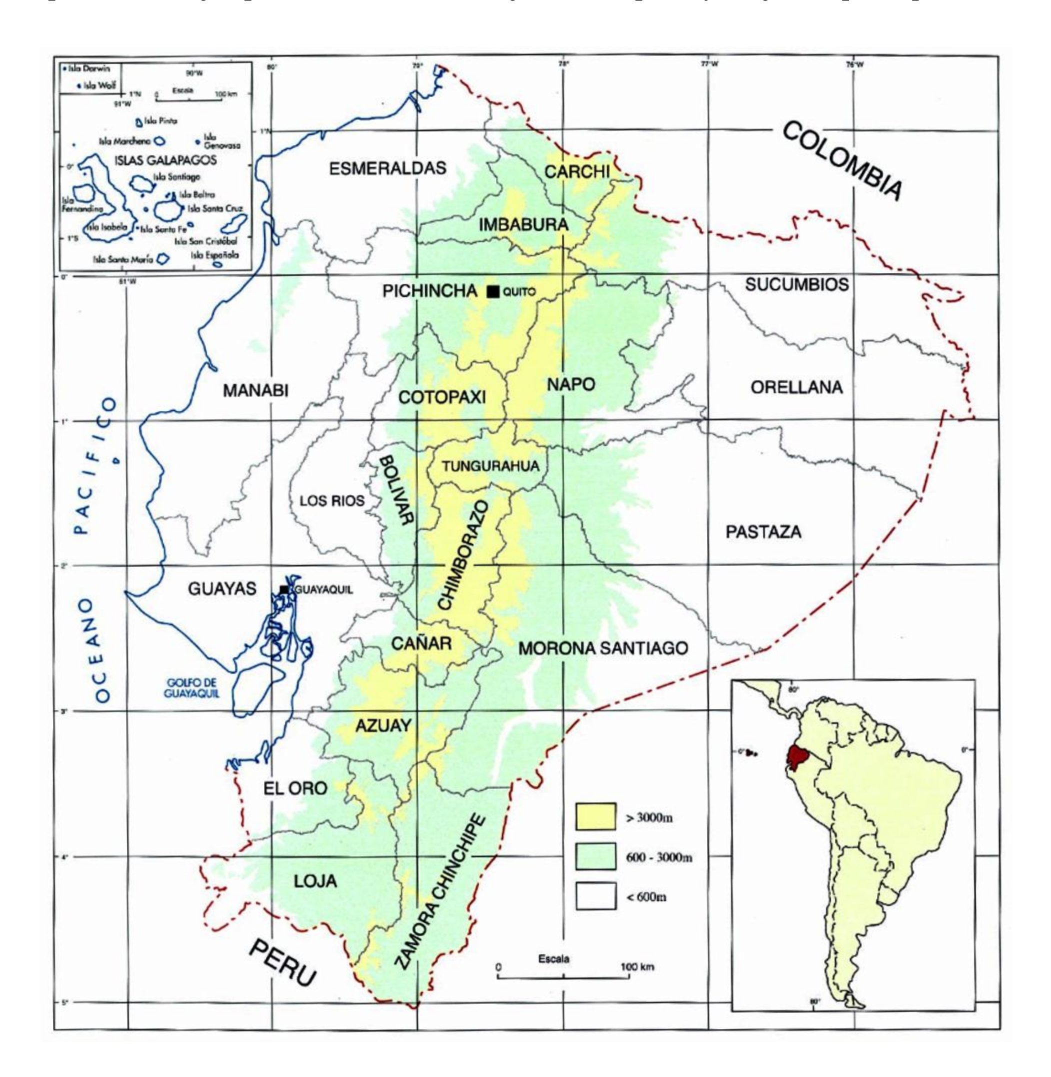


Figura 1. Mapa político y topográfico del Ecuador

La función legislativa es ejercida por el Congreso Nacional, está integrado por diputados nacionales y provinciales, quienes duran en sus funciones cuatro años. El Congreso cuenta con varias comisiones de trabajo integradas por diputados de distintas tendencias ideológicas-políticas y estructuradas de acuerdo al número de votos obtenidos en la contienda electoral; se reúnen todo el año con el fin de analizar los distintos asuntos, y preparar los correspondientes informes que permiten al plenario tomar decisiones.

El sistema judicial tiene tres niveles: El primer nivel lo constituye la Corte Suprema de Justicia, sus miembros son designados por tiempo indefinido por el Congreso. De entre sus miembros se elige el presidente del organismo por un período de dos años. Cuenta con Salas especializadas de lo Civil, Penal, Social y Administrativo. El segundo nivel le corresponde a una Corte Superior, con jurisdicción en cada una de las provincias. El tercer nivel lo integran jueces y notarios, los cuales son nombrados a su vez por las Cortes Superiores de cada jurisdicción. También existe el Consejo de la Judicatura, cuyos miembros son nombrados por el Congreso Nacional, organismo encargado de regular y controlar el Área Administrativa de la función judicial en todos los niveles antes mencionados.

El país cuenta además con el Tribunal Constitucional, único organismo responsable de velar por el cumplimiento de la Constitución. La Procuraduría General del Estado, organismo que representa judicialmente al Estado y otorga el mismo asesoramiento legal. Finalmente, existen las Superintendencias de Bancos, Compañías y Telecomunicaciones, que son organismos técnicos con autonomía administrativa, encargados de controlar las actividades económicas y servicios prestados por instituciones públicas y privadas, en su ámbito.

Uno de los acontecimientos más importantes en el campo de las relaciones internacionales fue la suscripción de la paz con el Perú. Un conflicto bélico producido por disputas territoriales entre los dos países, fue momentáneamente interrumpido con la firma del Protocolo de Río de Janeiro en 1942, constituyéndose como países garantes de su cumplimiento Argentina, Brasil, Chile, y EEUU. Una delicada situación de enfrentamientos en los años 1981, 1991 y 1995 finalmente fue resuelta en 1999 con el acuerdo entre los dos países, delimitándose de manera definitiva la frontera suroriental.

Con la expedición de la Ley para la Transformación Económica del Ecuador y las reformas a la misma, el Ecuador inicia la aplicación de un nuevo Sistema Monetario basado en la "dolarización" de su economía, creando mecanismos para la recuperación del sistema bancario, reformando el régimen de tributación, normando el manejo de las finanzas públicas y flexibilizando los contratos de trabajo. Se aspira a lograr un ambiente de seguridad económica y política que incentive la inversión foránea.

1.2 Política minera ecuatoriana

Desarrollo de actividades mineras a base de inversiones privadas, con leyes apropiadas, información geológica adecuada, y un sistema de propiedad minera (registro catastral) eficiente, confiable y transparente, accesible por internet.

Leyes claras y atractivas concernientes a inversiones en minería, impuestos y medio ambiente.

Futuros proyectos mineros deberán asegurar un adecuado manejo ambiental, con el fin de garantizar actividades mineras sostenibles a largo plazo, en armonía con otros sectores de la economía y con la sociedad.

Apoyo a las operaciones mineras de pequeña escala, mediante mecanismos de asistencia y capacitación, con el fin de desarrollar un sector minero de pequeña escala técnica y eficiente, que asegure un mejoramiento de las condiciones de vida, seguridad, salud e higiene, y eficiente control ambiental.

Incremento en la disponibilidad de datos geológicos, a través de publicaciones de mapas regionales de naturaleza geológica, temática y metalogénica, estudios de distritos mineros y modelos de depósitos.

Prioridad al incremento y diversificación de la producción minera, a fin de incrementar la contribución de la industria minera a la economía ecuatoriana.

Básicamente el Estado actúa como facilitador y promotor de actividades mineras. Las instituciones públicas encargadas del sector no son directamente ejecutoras del desarrollo de proyectos mineros específicos, sus obligaciones son promocionar estas actividades, atender y controlar a la inversión privada, local y extranjera.

El marco legal que rige las actividades mineras en el Ecuador se encuentra integrado por la Ley de Minería, publicada el 31 de mayo de 1991 en el Registro Oficial No. 695; el Reglamento General de la Ley de Minería, constante en el R.O. No. 797 de 7 de octubre de 1991; las reformas al Reglamento General, la primera, promulgada en el Registro Oficial No. 839 del 11 de diciembre de 1995, y la segunda en el Registro Oficial No. 1 el 24 de enero del 2000, las Normas Ambientales para la Actividad Minera en el Ecuador, que se encuentran en el R.O. No. 990 de 31 de julio de 1992 y el Reglamento de Seguridad Minera, publicado en el R.O. No. 999 de 30 de julio de 1996.

1.2.1 Algunos aspectos básicos que constan en la actual Ley de Minería:

- Mediante el amparo administrativo, el Estado otorga al titular minero, protección contra internaciones, despojo, invasión o cualquier otra forma de perturbación.
- Se garantiza la libre comercialización de los minerales.
- Inversionistas nacionales y extranjeros cuentan con iguales derechos y obligaciones, así como el mismo tratamiento jurídico y de impuestos.
- Todas las personas naturales y jurídicas pueden llevar a cabo libremente actividades de prospección.
- Títulos de exploración y explotación minera son derechos únicos, distintos de los títulos de propiedad del suelo, aunque ambos pertenezcan a la misma persona.
- Concesionarios de títulos de exploración pueden convertir libremente y en cualquier momento, todo o parte de sus áreas en títulos de explotación.
- No hay límite o impuestos adicionales para la repatriación de ganancias o beneficios.
- Las actividades mineras no pueden ser sometidas a impuestos o contribuciones que no se encuentren específicamente establecidas en la Ley de Minería.

1.2.2 Impuestos e incentivos mineros

• Regalías: 3% sobre el valor de la producción bruta.

• Impuesto a la Renta Empresarial: 25%, con deducciones especiales.

• No hay límite en la repatriación de utilidades, pero están sujetas a un impuesto del 11%.

• Impuesto a la importación de implementos mineros: 5% + Impuesto al Valor Agregado (IVA) cuando exista producción nacional del bien importado.

• Depreciación libre y transferencia de pérdidas al ejercicio siguiente.

• Concesiones de Exploración y Explotación con derecho libre y automático de transferencia.

• Patente anual de exploración: US$ 0.73/ha, incrementa con el tiempo para desalentar el mantenimiento de propiedades inactivas.

• Patente anual de explotación: US$ 2.18/ha.

1.2.3 Incentivos adicionales:

•Un sistema de amortización acelerado para 4 años para los gastos de exploración.

•Inversiones extranjeras pueden ser en efectivo, maquinaria o servicios.

•No hay cobro de impuestos en el registro de préstamos extranjeros, sin tomar en cuenta los términos de crédito otorgado ni su cantidad.

•Inversionistas extranjeros pueden tener derecho sobre cualquier porcentaje de acciones de la compañía.

•Formalidades para la aprobación de inversiones extranjeras son rápidas y libres de impuestos.

•Exportación de minerales bajo la Ley de Minería solamente necesitan cumplir con los requisitos generales para obtener el permiso de exportación.

•No hay límite en el número de las concesiones para una empresa operadora, aunque la ley limita el área máxima a 5000 ha por cada concesión.

•La exportación de minerales está libre de todo tributo o gravamen con excepción del impuesto de 0.5% sobre el valor FOB.

En la actualidad, un proyecto de Ley de Minería se encuentra en trámite en el Congreso Nacional. Este nuevo marco legal fue diseñado para ofrecer incentivos a inversiones nacionales y extranjeras, para facilitar la transferencia de tecnología y para proveer las garantías requeridas por los inversionistas.

1.2.4 Reformas planteadas a la Ley de Minería vigente[1]*:*

(i) Acuerdos sobre estabilización tributaria, similar a las que operan en Chile y Perú, lo que garantizará para inversiones mayores, ciertas condiciones fiscales que garanticen la inversión por un período fijo.

(ii) Unificación de los títulos de prospección y explotación en un título único.

(iii) Eliminación de Regalías.

(iv) Reformas especificando los derechos y obligaciones de los dueños de terrenos.

(v) Definición de los derechos ambientales y obligaciones de los concesionarios.

(vi) Reglas con respecto a la seguridad minera.

[1] Los aspectos señalados en este acápite "Impuestos e incentivos mineros" pueden modificarse considerando que el país ha iniciado una importante reforma económica en el año 2000.

2

INFORMACIÓN AMBIENTAL[2]

2.1 Ecuador, un país "Megadiverso"

Su posición geográfica en la zona ecuatorial, el estar atravesado por la Cordillera de los Andes y la influencia de varias corrientes marinas en su territorio contribuyen a la riqueza biológica del Ecuador. Estos factores determinan la presencia de gran variedad de climas, que ocurren a distancias muy cortas y que van desde el tropical megatérmico muy árido hasta el ecuatorial frío de alta montaña; así como de gran diversidad de paisajes y entornos naturales.

El Ecuador representa aproximadamente el 0.19% de la superficie terrestre. Sin embargo, su diversidad biológica lo convierte en uno de los 17 países con mayor biodiversidad del mundo o "megadiversos": "Siempre ocupa lugares importantes en las listas mundiales de casi todas las categorías de organismos, y si se considera la diversidad por unidad de superficie, muy bien podría resultar el número uno en la lista de megadiversidad"[3]$_{45}$.

Dentro de su territorio se encuentran dos sitios de concentración de biodiversidad y especies endémicas que enfrentan graves amenazas (*hotspots*): los Andes tropicales, que ocupan el primer lugar en la lista mundial de hotspots, y la región del Chocó/Darién/Ecuador Occidental[4]. Sus tierras amazónicas pertenecen al área tropical más grande y prístina de la Alta Amazonía. En su territorio se encuentran 11 áreas de endemismo de aves definidas por BirdLife International y 6 centros de diversidad y endemismo de plantas identificados por el WWF/UICN. Si a esto se suma el hecho de que el archipiélago de las Galápagos también es parte del territorio nacional del Ecuador, se tiene una extraordinaria combinación cuyo resultado es la impresionante diversidad biológica del país.

Ecuador ocupa el tercer lugar del mundo en número de especies de anfibios, con 402 especies. De ellas, 138, (el 34%), son endémicas. En cuanto a las aves, el Ecuador ocupa el cuarto lugar del mundo en número de especies de aves, de las cuales 37 son endémicas. Al relacionar estas especies con la superficie del país, se tiene que el Ecuador posee la asombrosa cifra de 1.42 especies de anfibios y 5.5 especies de aves por cada 1000 km^2.

El Ecuador ocupa el quinto lugar en diversidad de mariposas de la familia Papilionidae con 60 especies, el octavo en diversidad de reptiles y el noveno por endemismo de su herpetofauna; el decimosexto sitio por la diversidad total de sus mamíferos y posiblemente un séptimo lugar por la diversidad total de sus plantas superiores.

---

[2] Este texto fue editado por PRODEMINCA de un documento más amplio elaborado por Fundación Natura

[3] Mittermeier, R., Robles P., Goettsch, C. (1997) Megadiversidad. Conservation lnternational. CEMEX.

[4] La región Chocó es un conjunto de selvas húmedas de tierras bajas que alcanza su máxima expresión en Colombia y se prolonga hasta el departamento de Darién en Panamá.

Relacionada con la riqueza de paisajes y de diversidad biológica, el Ecuador tiene también una gran diversidad cultural expresada en por lo menos 16 grupos étnicos nativos, con dialecto y cultura propias. Estos grupos pertenecen a 10 nacionalidades indígenas: Chachís, Awa Coaquier, Tsáchilas, Quichuas de la Sierra, Quichuas de la Amazonía, Sionas, Secoyas, Cofanes, Huaoranis, Shuar y Ashuar. La población indígena representa una parte importante de la población nacional. Los estudios realizados estiman que los indígenas representarían entre el 10 y el 30% de la población nacional, dependiendo de cómo se caracteriza a lo indígena.

2.2 Marco político de la gestión ambiental en el Ecuador

La diversidad biológica del país y su importancia estratégica para el desarrollo nacional han estimulado una serie de cambios políticos, legales e institucionales orientados a garantizar su conservación.

En 1994 la Comisión Asesora Ambiental (antecedente del Ministerio del Ambiente, creado en 1996) emitió las primeras Políticas Ambientales para el Ecuador. En ellas, el Estado Ecuatoriano relieva la importancia de incluir consideraciones de sustentabilidad ambiental y equidad en todas las actividades económicas. Se propone incentivar el cumplimiento de las regulaciones ambientales y preocuparse particularmente de normar y controlar ciertas actividades productivas que podrían causar graves impactos sobre el ambiente como son las hidrocarburíferas y mineras.

El Estado dará prioridad a la prevención y el control de la contaminación y los impactos ambientales. Para esto fijará estándares ambientales adecuados para las actividades contaminantes y establecerá la obligatoriedad de contar con Estudios de Impacto Ambiental y Planes de Manejo Ambiental antes de realizar actividades que pudieran degradar el medio ambiente. Además, se exigirá a las compañías extranjeras, nacionales subsidiarias de compañías transnacionales y nacionales en general, que observen en su operación estándares ambientales altos que cumplan con las regulaciones nacionales pertinentes.

El proceso de fijación de políticas ambientales se ha profundizado desde la creación del Ministerio del Ambiente en 1996. La Estrategia Nacional para el Desarrollo Sostenible del Ecuador, elaborada en noviembre de 1999, menciona algunos principios que tienen relación con el marco regulatorio de la actividad económica: Sostenibilidad Ecológica[5], Consentimiento Informado Previo[6], Precaución[7] y Prevención[8].

[5] El uso de los recursos naturales y el manejo de los ecosistemas se realizarán dentro de límites y con procedimientos que no causen efectos irreversibles en los sistemas naturales. La utilización de un determinado recurso no debe reducir el uso potencial del mismo en el largo plazo ni comprometer la existencia de otros recursos.

[6] Los usos que se hagan de los componentes de la biodiversidad requieren de la consulta y del consentimiento previo y expreso de los actores sociales involucrados y de la autoridad competente. Este consentimiento debe basarse en una información veraz, transparente, fidedigna, completa, oportuna, actual y accesible.

[7] La falta de pruebas científicas no debe alegarse como razón para aplazar las medidas necesarias cuando exista presunción razonable de riesgo de reducción o pérdida sustancial de diversidad biológica, de la seguridad alimentaria y de la salud humana, animal o vegetal.

[8] Se tenderá de manera prioritaria a la prevención de daños o amenazas a la biodiversidad y, en general, al ambiente antes que a los mecanismos de compensación o restauración de los daños causados.

Tabla 2. Actividades permitidas en el Patrimonio Forestal del Estado, Bosques y Vegetación Protectores y Áreas Protegidas de acuerdo a la Ley Forestal, de Conservación de Áreas Naturales y Vida Silvestre y leyes relacionadas

Categoría	Descripción	Actividades permitidas
Patrimonio Forestal del Estado	Tierras forestales propiedad del Estado y los bosques naturales o cultivados que existan en ellas, manglares (aún los existentes en propiedades particulares) y la flora y fauna silvestres.	-Forestación y aprovechamiento sustentable del recurso forestal. -Adjudicación de tierras a las organizaciones campesinas. -Concesiones de explotación a industrias nacionales. -Contratos de aprovechamiento forestal. -No hace referencia sobre la posibilidad de realizar actividades mineras dentro del Patrimonio Forestal del Estado. -La Ley de Minería vigente establece que pueden hacerse, previa a la autorización de la autoridad ambiental.
Bosques y Vegetación Protectores (pueden ser de propiedad pública o privada, pero siempre su manejo está regulado por la autoridad ambiental)	Territorios designados como tales después de evaluarlos y comprobar que cumplen con funciones de protección del suelo y la vida silvestre, control de fenómenos pluviales, preservación de cuencas hidrográficas, protección de depósitos de agua, cortinas rompe vientos o áreas de investigación hidrobiológica-forestal.	-Apertura de franjas contra fuegos. -Control fitosanitario. -Fomento de flora y fauna silvestres. -Ejecución de obras públicas consideradas prioritarias. -Actividades científicas, turísticas y de recreación. -Actividad minera previa autorización de la autoridad ambiental.
Patrimonio Nacional de Áreas Naturales del Estado	"El conjunto de áreas silvestres que se destacan por su valor protector, científico, escénico, educacional, turístico y recreacional, por su flora y fauna o porque constituyen ecosistemas que contribuyen a mantener el equilibro del medio ambiente" (R.O. 64)	-Estatus de protección más estricto que las categorías anteriores. -Incluye 7 categorías de manejo, definidas de acuerdo con criterios de riqueza biológica y grado de alteración: Parque Nacional, Reserva Ecológica, Refugio de Vida Silvestre, Reserva Biológica, Reserva de Producción de Fauna, Área Nacional de Recreación y Área de Caza y Pesca. -La Ley de Minería (Art. 87) limita las actividades mineras dentro de esta categoría. El Reglamento Ambiental para actividad minera especifica que no se autorizarán actividades mineras dentro de este patrimonio.

A base de estos principios, se proponen políticas nacionales de conservación centradas alrededor del fortalecimiento de la capacidad normativa y de control del Ministerio del Ambiente, la consolidación del Sistema Nacional de Áreas Protegidas incluyendo en él ecosistemas que no se encuentran lo suficientemente representados y estableciendo zonas de amortiguamiento y corredores ecológicos alrededor y entre las áreas, la promoción del uso de tecnologías limpias minimizando la generación de residuos y la contaminación del agua. En general, el Estado se compromete a garantizar la continuidad y el mantenimiento de las funciones reguladoras y los procesos ecológicos y evolutivos que sustentan la vida y que posibilitan la existencia de la biodiversidad en sus 3 niveles: ecosistemas, especies y genes.

2.3 El marco legal e institucional de la gestión ambiental

Las leyes principales que norman el manejo ambiental en el Ecuador son la Constitución Política de la República, la Ley de Gestión Ambiental, la Ley Forestal, y de Conservación de Áreas Naturales y Vida Silvestre y su Reglamento.

Este marco legal está en proceso de cambio y adaptación. La nueva constitución, vigente desde el 11 de agosto de 1998, introdujo importantes normas relacionadas con la gestión ambiental y la consulta a la comunidad sobre actividades extractivas. Algunos de sus mandatos referidos al tema ambiental no han sido reglamentados todavía. La Ley de Gestión Ambiental No. 99-37 (R.O. No. 245), emitida en julio de 1999, procura articular mejor la gestión y el control ambientales, evitando que las instancias estatales persigan objetivos particulares o contradictorios.

La Ley Forestal y de Conservación. de Áreas Naturales y Vida Silvestre y su Reglamento se ocupan, por su parte, de los recursos forestales entendidos en un sentido amplio[9]. La autoridad responsable de la administración de estas áreas es el Ministerio del Ambiente. La ley norma su manejo y aprovechamiento de acuerdo a diferentes criterios de protección, dependiendo de los usos económicos, los servicios ecológicos que brindan y su riqueza en diversidad biológica.

El Patrimonio de Áreas Naturales del Estado (actualmente conocido como Sistema Nacional de Áreas Protegidas) abarca el 18% del territorio nacional (ver Fig. 2).

[9] Esto es, las tierras de aptitud forestal públicas y privadas, los bosques naturales y cultivados públicos y privados, los bosques y vegetación protectores públicos y privados, las Áreas Naturales del Estado y la flora y fauna silvestres.

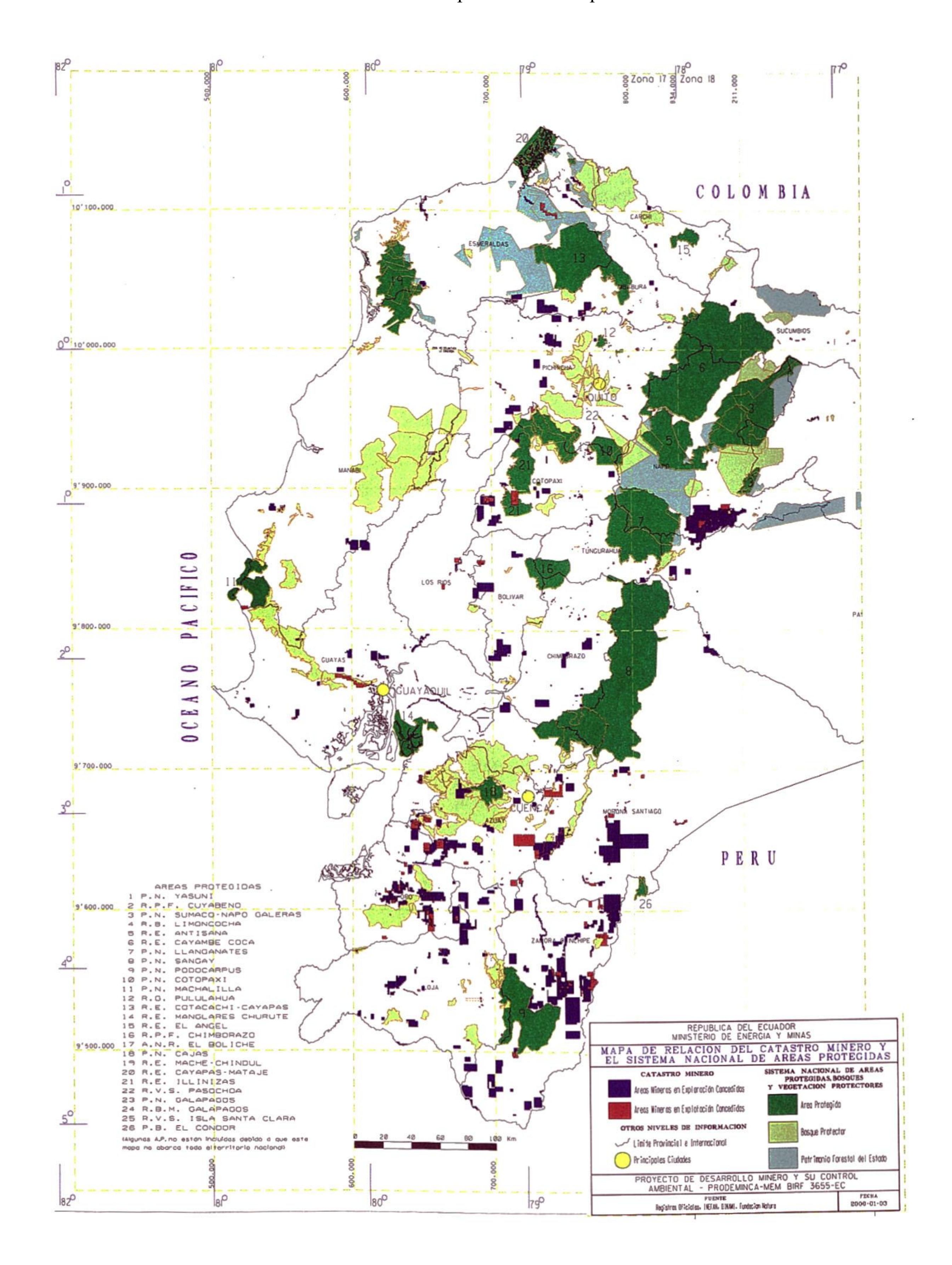


Figura 2. Mapa del Ecuador que relaciona el Catastro Minero con el Sistema Nacional de Áreas Protegidas, Bosques Protectores y Patrimonio Forestal del Estado

3

DISPONIBILIDAD DE DATOS GEOCIENTÍFICOS

Existe una base de datos geocientífica actualizada para el Ecuador y los Andes ecuatorianos en particular. Dicha base brinda una riqueza de información fundamental sobre el potencial metalífero.

Durante la última década concluyó un programa de siete años de mapeo geológico de reconocimiento y prospección mineral (1986-1993) en la Cordillera Real, la Cordillera del Cóndor y la Provincia de El Oro. El trabajo inicial fue realizado por el Servicio Geológico Británico en conjunción con la DINAGE y financiado por la DFID. A éste siguió un Proyecto de 5 años de duración de Asistencia Técnica de Desarrollo Minero y Control Ambiental (PRODEMINCA) financiado por el Gobierno Ecuatoriano mediante un préstamo del Banco Mundial y por donaciones de los gobiernos de Gran Bretaña y Suecia.

El proyecto incluyó un amplio programa de mapeo geológico (PICG) de la Cordillera Occidental, sobre un área de 35000 km^2 al norte de 4°S, que fue acompañado por un estudio geoquímico de sedimentos fluviales en la misma área y una evaluación de tipos de depósitos metalíferos en distritos mineros seleccionados del cinturón andino del Ecuador. La visualización digital GIS e interpretación de datos topográficos, geológicos, geoquímicos, geofísicos, de ocurrencias de minerales y ambientales recopilados bajo los subcomponentes del PICG y del subcomponente de Distritos Mineros de PRODEMINCA facilitaron la construcción de un nuevo marco metalo-tectónico que facilita la detección de nuevos objetivos potenciales para mineralización metalífera dentro de algunas de las áreas menos exploradas del Ecuador.

3.1 Mapas geológicos

77 hojas geológicas que cubren ca. 52.3% del territorio nacional se han publicado a color en escala 1:100000. 51 de estas hojas fueron realizadas conjuntamente con las correspondientes a escalas 1:25000 y 1:50000 contando con la participación de BGS/ODA en un programa de mapeo geológico sistemático y de investigación mineral en el Ecuador occidental (1972-1980). Los mapas geológicos y de indicios minerales preparados y publicados por BGS desde 1990 son presentados en la Tabla 3.

Todas estas hojas están disponibles en formato digital. Mapas geológicos actualizados escala 1:100000 de los distritos mineros Alao Paute (78°15'–78°45'W/1°40'–2°40'S) y Zamora (78°22'–79°00'W/2°50'–4°20'S) también están disponibles tanto en forma digital como impresa. Recopilaciones de los mapas del PICG pueden obtenerse en escala 1:500000 y el mapa geológico nacional (l:1000000) está siendo revisado por DINAGE para incorporar los nuevos datos surgidos del proyecto PRODEMINCA.

Tabla 3. Mapas geológicos publicados durante los proyectos PRODEMINCA y Cordillera Real

Escala	Número y descripción de las hojas	Fecha	Informe descriptivo
1:100000	Complejo Metamórfico de El Oro	1994	BGS Overseas Geology and Mineral Resources No. 67 (1995)
1:200000	5 hojas de la Cordillera Occidental entre 4°S y 1°N	1997 (1-3) 1999 (4) 2000 (5)	Explicación de la Geología de cada hoja
1:500000	2 hojas (Norte y Sur) del Cinturón Metamórfico de la Cordillera Real	1994	BGS Overseas memoir No. 11. The Metamorphic belts of Ecuador (1994)
1:1000000	2 hojas: Mapa Geológico del Ecuador y Mapa Tectonometalogénico de la República del Ecuador	1993	

3.2 Datos geoquímicos de sedimentos fluviales

Datos geoquímicos de sedimentos fluviales a escala de reconocimiento para 27 elementos de mena están disponibles para la Cordillera Real (320 muestras) y para el Distrito El Oro (172 muestras). También están disponibles datos cualitativos y semicuantitativos para 311 concentrados de minerales pesados.

Datos geoquímicos de sedimentos fluviales a escala mediana para 36 elementos, 7 mayores y 29 trazas, (Au, Ag, Cu, Pb, Zn, Mo, Ni, Co, Cd, As, Sb, Bi, Fe, Mn, Te, Ba, Cr, V, Sn, W, La, Al, Mg, Ca, Na, K, Sr, Y, Ga, Li, Nb, Se, Ta, Ti, Zr) se recopilaron en la Cordillera Occidental por parte de PRODEMINCA (Subcomponente 3.4). Datos adicionales para Pt y Pd se incluyen para el área de la Hoja 5. Estos datos están disponibles como paquetes digitales de sedimentos fluviales. En ellos se ha mantenido un estricto control de calidad y un mínimo de interpretación en cada una de las cinco hojas geológicas, escala 1:200000. Cada paquete incluye un disco compacto (CD) que contiene:

(i) Datos analíticos debidamente georreferenciados (coordenadas UTM, SAD69) de las muestras.

(ii) Líneas simplificadas, digitales, de contactos geológicos (formato DXF).

(iii) Red de drenaje (formato DXF e impreso).

(iv) Texto descriptivo de los métodos, procedimientos de control de calidad, etc.

El paquete también contiene el mapa geológico impreso, escala 1:200000, de la hoja correspondiente. Detalles de cada hoja que comprende 1º de latitud son dados en la Tabla 4. El precio para la compra de los datos se ha fijado en 2.5% del costo real de adquisición por muestra (ca. US$80) para los primeros 12 meses desde la fecha de puesta a la venta y después al costo de reproducción. Atlas para cada hoja conteniendo valores puntuales para 14-20 elementos subdivididos en 6 intervalos de clase (<25, <50, <75, <90, <97 & >97 percentiles) están disponibles para consulta en el MEM. Los elementos incluyen Au, As, Hg, Cu, Ni, Cr, Mn, Zn, Pb, Mo, Ca, K con elementos adicionales seleccionados para cada hoja.

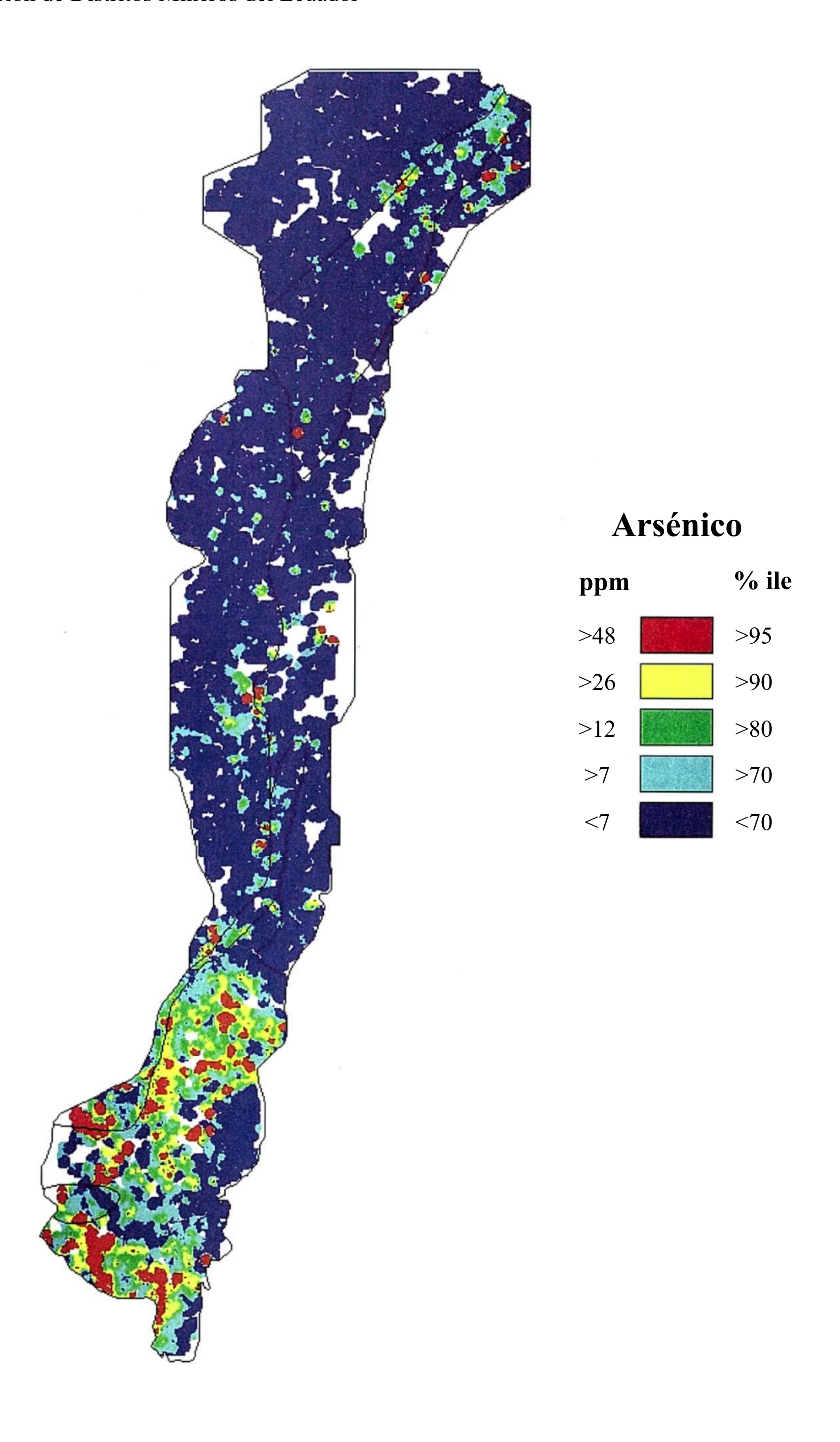


Figura 3. Imagen cuadriculada de los valores de arsénico en los sedimentos fluviales en la Cordillera Occidental

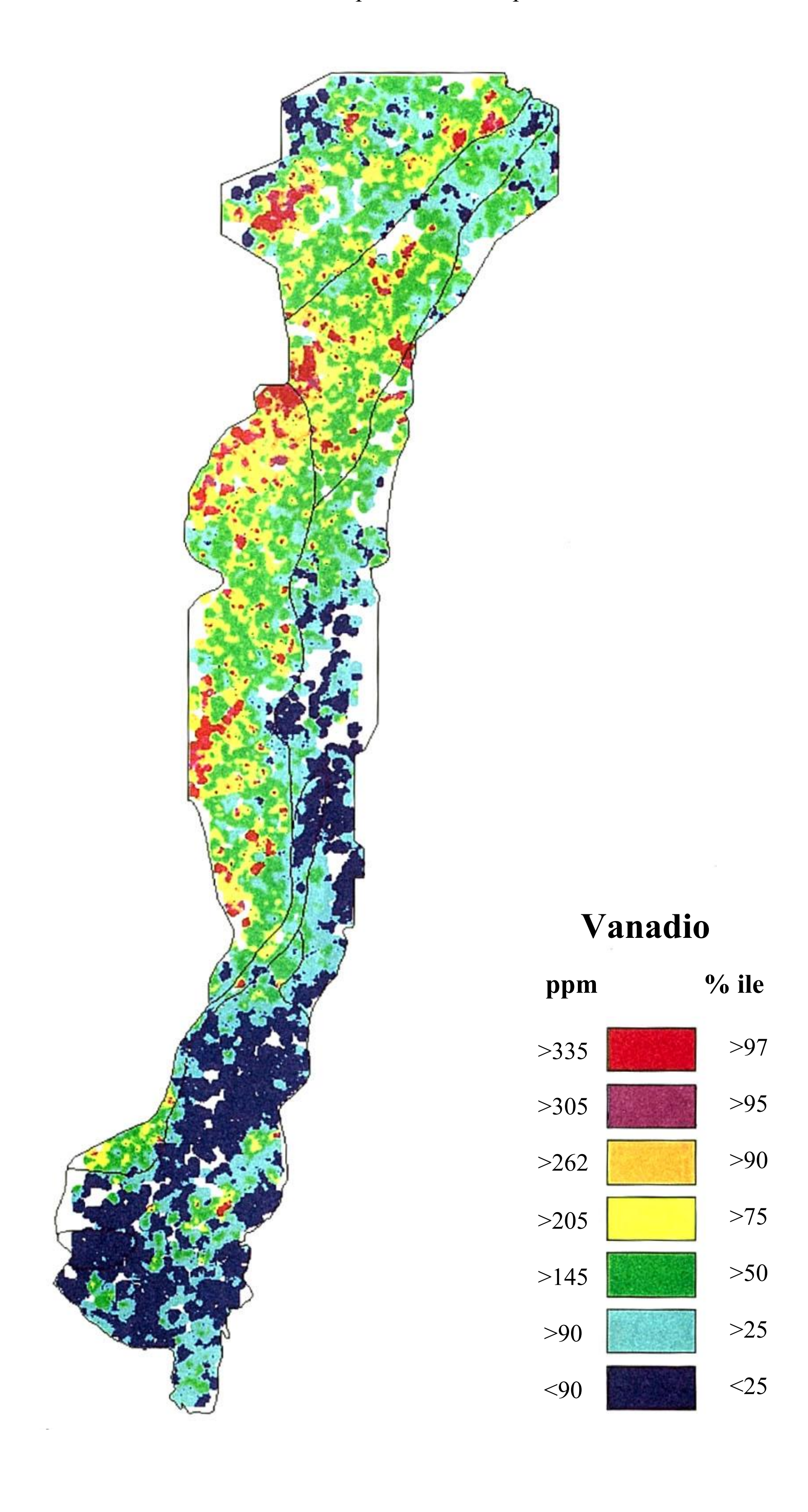


Figura 4. Imagen cuadriculada de los valores de vanadio en los sedimentos fluviales en la Cordillera Occidental

Tabla 4. Datos geoquímicos de sedimentos fluviales de la Cordillera Occidental

Sector	Muestras	Área (km^2)	Densidad
3-4°S	2390	6190	2.59
2-3°S	2456	6000	2.44
1-2°S	2150	6750	3.13
0-1°S	2944	7065	2.4
0-1°N	5223	10050	1.9

3.3 Datos aeromagnéticos

Datos aeromagnéticos han sido adquiridos de toda la Cordillera Occidental de los Andes Ecuatorianos entre 4°S y 1°N, en un área de 52500 km^2 (véase la contraportada para la zona estudiada). El levantamiento fue ejecutado por SIAL bajo un contrato con Proyecto PRODEMINCA en 1999 utilizando líneas de vuelo con espaciamiento de 1 km y de dirección de N150°E, con líneas de control a intervalos de 10 km. El área fue dividida en dos zonas, arriba y abajo de una elevación de 1500 msnm, para permitir sobrevolar la severa topografía. Datos del Campo Magnético Total (CMT) de alta resolución de estas zonas recolectadas a un espacio promedio del terreno de aproximadamente 700 m, fueron fusionados como parte del procedimiento de procesamiento. El paquete de los datos digitales incluyendo mapas del CMT, valores de gradiente vertical y la reducción al polo y datos de elevación estarán disponibles durante el año 2000 proporcionando información sobre las estructuras y formaciones geológicas principales de la región.

3.4 Datos de ocurrencias minerales

El MEM está implementando un sistema digital de Información Geológico-Minero-Ambiental a nivel nacional para asistir con la evaluación y desarrollo del potencial minero. Dentro de este marco puede consultarse el Sistema de Información Geológico-Minero (SIM), un sistema de información geográfica (SIG) que contiene dos subsistemas integrados: uno de mapeo digital basado en MicroStation y otro de información de proyectos (SIP), una base de datos desarrollada en ORACLE. Adicionalmente se ha desarrollado un sistema de información bibliográfica (SIB) que dispone de un inventario de aproximadamente 600 investigaciones realizadas por el SGN, DGGM, INEMIN y CODIGEM. En la última década se han elaborado varias recopilaciones regionales de información sobre ocurrencias metalíferas en el Ecuador: UNDP[27,28] (ver también Goossens[9]), misiones geológicas de Bélgica[11], Francia[5] y Reino Unido[15]. Otras contribuciones importantes son también las de Gemuts et al.[8] y Paladines & Rosero[21]. Estudios de prospectos y áreas mineras específicas con gran cantidad de información existen en el dominio público e incluyen trabajos realizados por misiones belgas (Chaucha, Bella Rica, Zaruma-Portovelo) y japonesas (La Plata, Balzapamba-Telimbela, Chaucha y Junín). Los estudios más recientes han sido realizados por BGS en colaboración con CODIGEM (hoy DINAGE) bajo el Proyecto PRODEMINCA.

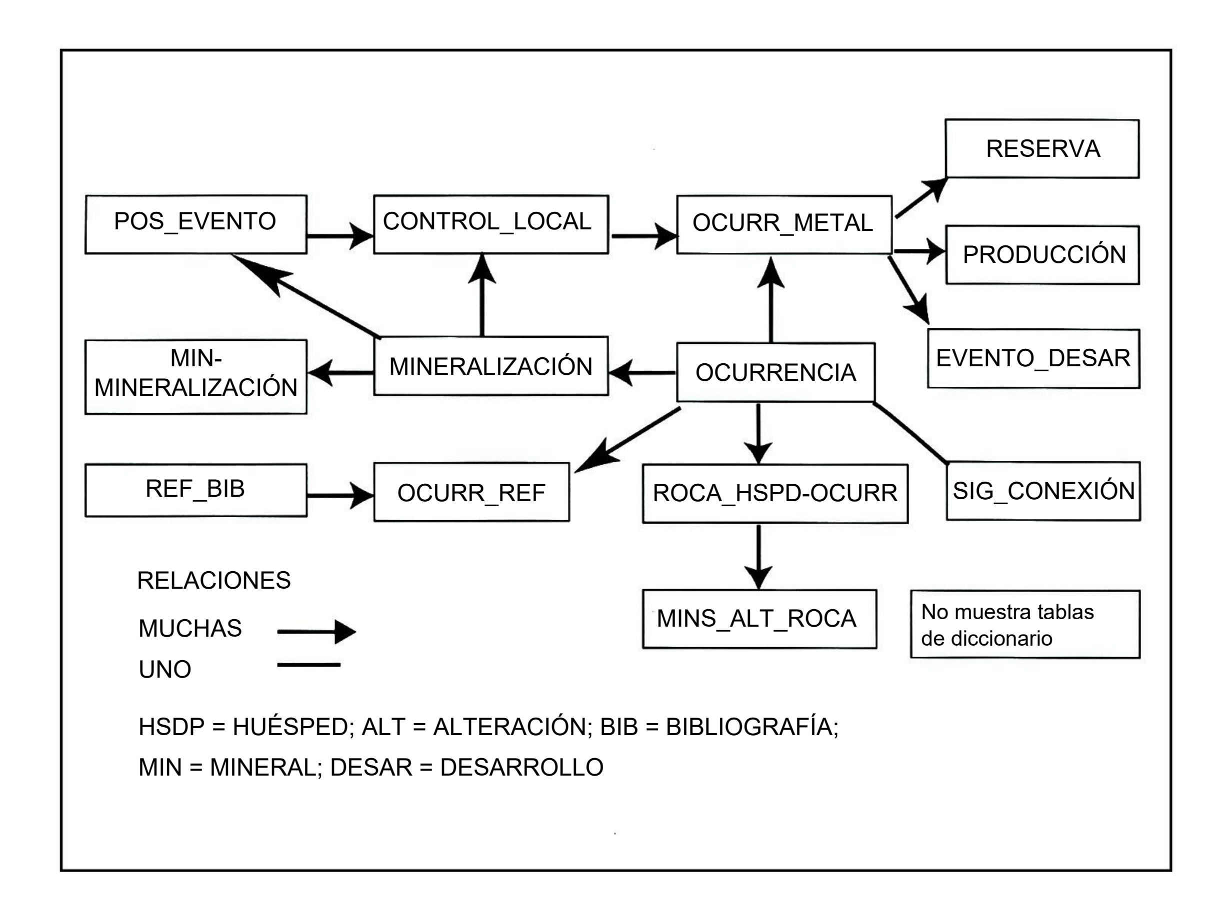


Figura 5. Diagrama esquemático de la base de datos relacional de ocurrencias minerales

El subcomponente 3.5 de tipos de depósitos en distritos mineros seleccionados ha amplificado considerablemente la base de conocimiento por medio de la incorporación e interpretación de información de varias compañías mineras. Cinco distritos mineros que incluyen algunos de los mejores ejemplos conocidos de los principales tipos de depósitos en el Ecuador fueron evaluados para producir modelos descriptivos y genéticos y proveer las guías de exploración presentados en este manual. Los resultados de este estudio de dos años están disponibles en cuatro informes técnicos exhaustivos y un volumen sumario[16a,b,c,d,e]. Adicionalmente, se ha desarrollado en MS Access 97 una Base de Datos de Indicios Minerales (MOD) para cuatro distritos. Esta base es compatible con las tablas ORACLE de DINAGE, y está vinculada con un SIG (desarrollado en MapInfo vs.5); tiene una escala operacional óptima de 1:100000 y está disponible en CD-ROM.

4

GEOLOGÍA Y METALOGÉNESIS DEL ECUADOR

4.1 Contexto geológico regional

Ecuador es parte de los Andes Septentrionales y en común con otros segmentos del cinturón andino, está compuesto de este a oeste por las siguientes divisiones morfo-estructurales:

Cuenca Trasarco de Iquitos, parte de la cuenca sedimentaria Amazónica u Oriente que aloja los reservorios de petróleo más importantes en el país.

Zona Subandina Oriental, transicional entre la cuenca amazónica y la sierra andina alta, comprende un cinturón de corrimientos de antearco del basamento y secuencias de cobertura. Está intruido por batolitos grandes de granitoides tipo-I.

Cordillera Real Central, el eje geomorfológico de los Andes Ecuatorianos. Está dominada por cinturones lineales de rocas metamórficas pre-Cretácicas intruidas por granitoides tanto de tipo-S como de tipo-I, cubiertos en gran parte de su longitud por volcánicos del Cenozoico.

Cordillera Occidental, una cadena de montañas paralela a la Cordillera Real y separada de ella en la parte septentrional del país por un graben interandino central. Está compuesta por un prisma de acreción de corteza oceánica-continental y terrenos oceánicos acrecionados del Mesozoico tardío al Cenozoico; le sobreyacen secuencias volcánicas calco-alcalinas post-Eocénicas de margen continental.

Cuenca Antearco de la Costa, región de bajo relieve al occidente de los Andes. Representa una cuenca Cretácica tardía a Cenozoica, o una serie de cuencas, subyacida por corteza oceánica básica alóctona que está expuesta en las colinas de las cordilleras costeras.

Graben interandino, continuación sur de la depresión Cauca-Patía en Colombia. Es una estructura extensional bordeada por fallas activas y contiene gruesas y extensas secuencias volcanosedimentarias y volcánicas del Oligoceno-Mioceno.

4.2 Ambiente y evolución geotectónica

Los Andes del Norte son un collage complejo desarrollado en respuesta a una subducción oblicua, traslación y acreción múltiple de terrenos alóctonos. El cambio a un geotectonismo relativamente simple de los Andes Centrales ocurre abruptamente en la deflexión de Huancabamba donde la cadena andina cambia de dirección de SE-NW a SW-NE. La deflexión de Huancabamba es una zona importante de transición caracterizada por la presencia de fallas transversas, localizada hacia el occidente de la depresión amazónica, tiene rumbo E-W. Marca un cambio fundamental en las características magmáticas y metalogénicas que parecen reflejarse en la segmentación actual de la corteza oceánica con diferentes inclinaciones. Desde Chiclayo, en el norte del Perú, hasta el Caribe la tectónica de placas es similar a aquella del occidente de los Estados Unidos.

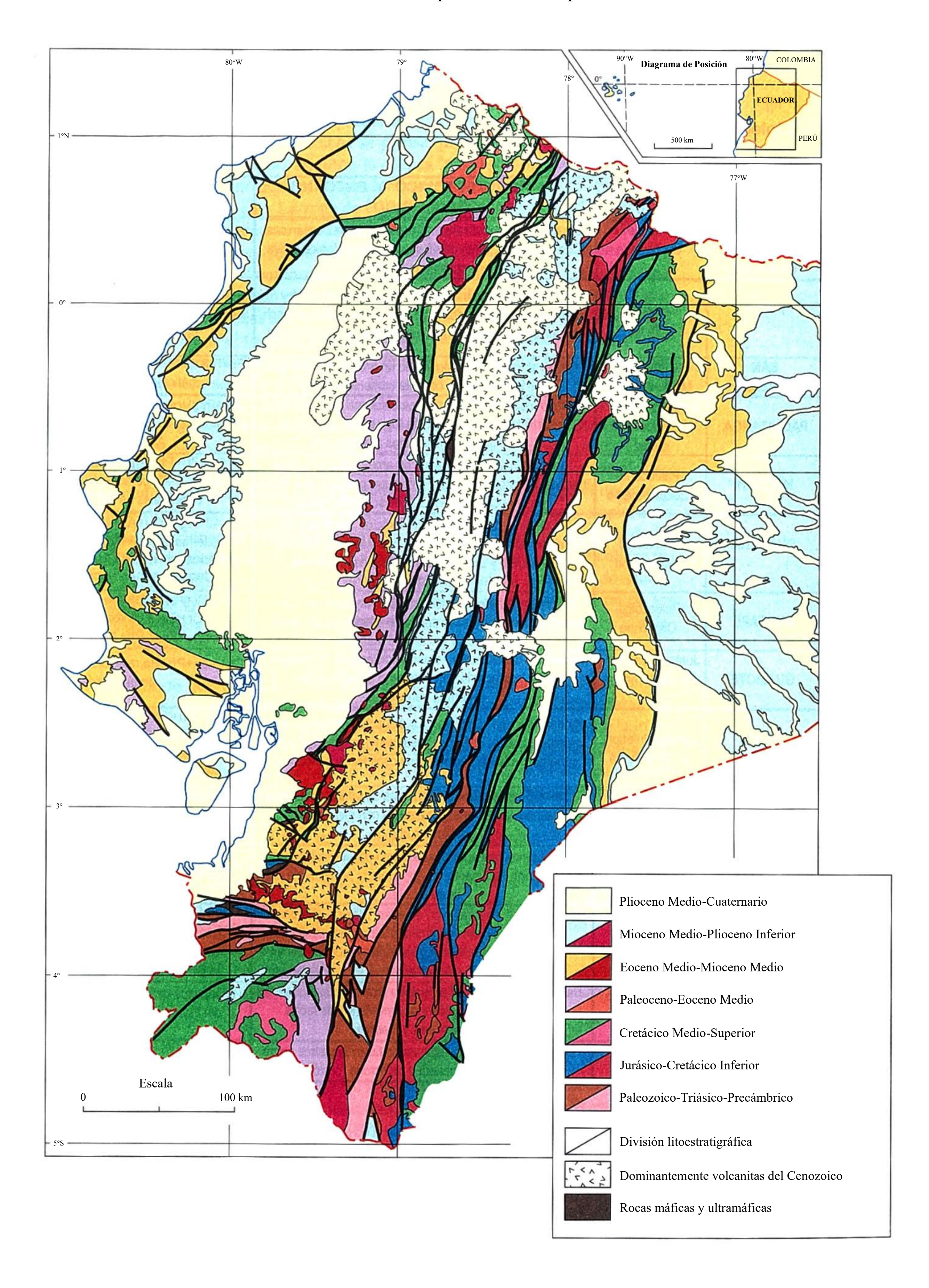


Figura 6. Mapa geológico simplificado del Ecuador

Durante el Mesozoico temprano, la evolución del margen noroccidental de Sudamérica estuvo controlada predominantemente por una zona de suprasubducción tectono-magmática[2,12]. Desde el Jurásico tardío, sin embargo, la evolución involucra una creciente acreción de variados terrenos oceánicos y continentales, modificada por zonas de falla/sutura con rumbo NNE y movimiento dextral transcurrente (*strike-slip*). La sutura y subducción de la corteza oceánica y sus plataformas (y arcos superpuestos) ocurrieron durante el Jurásico tardío, en el Cretácico medio a tardío y en el Terciario temprano[13, 15].

La acreción Peltetec-Palenque fue el principal evento tectono-metamórfico que afectó a las rocas del Jurásico-Cretácico temprano[15]. Ésta se interpreta como la mayor acreción/colisión responsable del establecimiento del mosaico de terrenos del Ecuador antes de la adición del terreno Piñón. Todas las fallas mayores en la Cordillera Real, algunas de las cuales reactivaron suturas y fallas extensionales, pertenecen a este evento. La provincia de El Oro es un complejo acrecionario que incorpora fragmentos arrancados de la Cordillera Real junto a inclusiones de alta presión de origen oceánico que fueron tectónicamente emplazados dentro de un régimen transpresivo dextral[1,7]. La totalidad del terreno Chaucha se piensa que comprende un complejo de melange relacionado a este evento, mientras la cuenca "pull-apart" de Lancones dentro del terreno Amotape se formó durante la rotación horaria progresiva del bloque El Oro hacia una orientación este-oeste. La zona de falla Peltetec/Baños-Las Aradas que marca el borde de colisión Jurásico tardío-Cretácico temprano es una zona de cizalla mayor con rumbo andino que se puede seguir por más de 2000 km a través de los Andes del Norte hasta el Caribe. Los terrenos oceánicos Piñón y Pallatanga del Cretácico temprano a medio, que ahora forman el basamento de la Cordillera Occidental y de la planicie costera, y sobre los cuales se acrecionó el arco de islas Macuchi, se descolaron de la placa Chaucha durante el Cretácico tardío-Terciario temprano. La colisión comenzó en el sur y gradualmente se fue cerrando hacia el norte donde se fue incorporando una cuenca de antearco con sedimentos de flysch. El contacto tectónico entre este terreno y el complejo acrecionario del Jurásico tardío-Cretácico temprano está marcado por el sistema de fallas Calacalí/Pallatanga-Bulubulu en Ecuador y la falla Cauca-Patía en Colombia. La acreción del Cretácico tardío marcó la emergencia de una proto-Cordillera Real[3]. A fines del Eoceno, el arco Macuchi fue acrecionado oblicuamente al margen continental y trasladado hacia el norte, deformando la cuenca marginal de antearco del Paleoceno-Eoceno conocida como grupo Angamarca y en lugares emplazando tectónicamente porciones de Pallatanga dentro de sedimentos Yunguilla. La zona de falla Chimbo-Cañi marca la línea de sutura de este evento acrecionario. Así, el collage resultante de terrenos representa diferentes dominios geotectónicos que han sido sucesivamente adheridos (y readheridos) al cratón amazónico durante la separación de los continentes de Norte y Sur América. Estos terrenos están delineados en la Fig. 7 y definidos en la Tabla 5.

El período que va del Eoceno tardío al Mioceno temprano estuvo dominado por volcanismo de margen continental relacionado a subducción del Grupo Saraguro, el cual se inició durante la colisión final y la acreción del arco Macuchi. El traslado hacia el norte del terreno Macuchi se cree que generó una estructura tensional "pull-apart" entre la cordillera emergente, lo que facilitó el rápido ascenso de voluminosos magmas andesíticos. Siguiendo el rompimiento de la placa Farallón en las placas Cocos y Nazca, hace alrededor de 26 Ma[47,52]. La evolución geotectónica del Ecuador ha sido dominada por la subducción hacia el este de la placa Nazca y el desarrollo asociado en el Neógeno de volcanes de tipo de arco de margen continental, construidos predominantemente sobre la asociación de terrenos acrecionados[15]. Durante el Oligoceno tardío-Mioceno temprano, la actividad volcánica del Grupo Saraguro fue más silícica con la emisión de flujos piroclásticos de gran escala separados por deformación y erupción. La evolución post-Saraguro ha involucrado ciclos alternativos de extensión y compresión, la formación de aisladas cuencas fluvio-lacustres intramontanas dentro del graben interandino y la progresiva migración de la actividad volcánica hacia el norte.

Tabla 5. Terrenos litotectónicos y sus características

Región	Terreno litotectónico		Marco tectónico y entorno geológico	Metales y tipos de depósitos
	Nombre	Edad		
Galápagos	Cordillera de Carnegie	Plioceno-Cuaternario	Dorsal submarina divergente entre las placas oceánicas Cocos y Nazca. Zona de rift y extensión tectónica activa con volcanismo basáltico.	Cu-Ni-Co-Mn (asociación ofiolítica) Fe + Cu ± Au depósitos VHMS.
Costa	Piñón	Cretácico inferior	Corteza oceánica alóctona: Cuenca de antearco y subcuencas delimitadas por fallas con turbiditas y flysch, cubiertas por sedimentos Cuaternarios de marino litoral.	Fe-Ti & MGP-Au placeres Fe + Cu ± Mo & Au + Sb + Hg + Ba depósitos epi-mesotermales relacionados con intrusiones.
	San Lorenzo	Cretácico medio-superior	Terreno alóctono comprendiendo un arco de isla primitivo con lavas máficas con alta contenido de Mg.	Fe-Ti & MGP-Au placeres; MGP intrusiones máficas-ultramáficas del tipo 'Alaskan'.
Cordillera Occidental	Pallatanga	Cretácico medio a Paleoceno medio	Terreno alóctono de corteza oceánica con una secuencia turbidítica de antearco o de fosa sobreyacido por sedimentos continentales cenozoicos.	Au + Pt placeres derivados de una asociación ofiolítica; Fe + Cu ± Au depósitos VHMS; Cu ± Au ± Mo pórfidos.
	Macuchi	Paleoceno-Eoceno medio	Terreno alóctono ensimático de arco de isla y cuenca marginal trasarco tectónicamente superpuesto sobre Piñón/Pallatanga. Secuencia de flysch/volcanitas.	Cu + Zn + Pb + Ag + Au depósitos VHMS Cu + Mo ± Au pórfidos; Cu + Au depósitos epitermales de alta sulfuración.
Depresión interandina	Chaucha	Paleozoico-Cuaternario	Complejo de un prisma de acreción alóctono con fragmentos de corteza continental (Melange Peltetec-Palenque) y una cobertura volcanosedimentaria cenozoica.	Au + Ag ± Cu + As + Sb + Hg depósitos epitermales; Cu + Mo ± Au ± Zn ± Bi (pórfidos y brechas); Au + Ag + Cu + Zn + Pb depósitos meso-epitermales.
	Amotape	Paleozoico-Oligoceno	Complejo de acreción alóctono El Oro y cuenca "pull-apart" Lancanes de edad Cretácico inferior a Paleógeno con flysch y volcánicos máficos.	Sn-W granitoides tipo-S; Cu + Ni + Co ± Cr + MGP, ofiolitas/ultramáficos Fe + Cu + Zn ± Pb + Au depósitos VHMS.
	Guamote	Jurásico Inferior a Cuaternario	Secuencia de metasedimentos siliciclásticos de margen pasiva sobrecorrida en el terreno Chaucha y con cobertura cenozoica.	Cu ± Zn + Pb + Ba relacionado con intrusiones de granitoides.
Cordillera Real	Alao	Jurásico Inferior a Cuaternario	Arco Insular con complejo de subducción (antearco-arco de isla-retroarco) sobre un basamento continental y con cobertura volcanosedimentaria continental cenozoica.	Ag + Au + Sb + Pb + Zn & Hg depósitos epitermales; Fe + Cu + Pb + Zn + Ag + Au depósitos VHMS; Cu + Au ± Mo pórfidos MGP-Au Intrusiones máficas-ultramáficas.
	Loja	Paleozoico-Triásico y Cuaternario	Secuencia semipelítica metamórfica de origen continental (cuenca de rift o margen pasiva) con migmatitas y granitoides tipo-S.	Sn-W granitoides tipo-S; Cu + Ag + Pb + Zn ± Sn ± W brechas Au + Ag ± Cu + As + Zn + Pb +Sb depósitos epitermales.
	Salado	Jurásico	Cuenca marginal sobre basamento continental. Rocas meta-volcanosedimentarias con materia proveniente del terreno Loja.	Cu + Mo + Pb + Zn klippen de skarn; Cu + Au depósitos epi-mesotermales relacionados con pórfidos
Cordilleras subandinas	Zamora	Paleozoico a Cretácico medio	Cuenca de rift intracratónica de edad Triásica-Jurásica con un arco magmático continental Jurásica (batolito de Zamora): Sedimentación y volcanismo continental en semigrabens.	Cu + Mo & Cu-Au pórfidos; Au ± Bi + Te & Fe + Cu ± Zn skarns relacionados con intrusiones; Au + Ag ± Zn + Pb depósitos epitermales relacionados con pórfidos.
	Napo-Cutucú	Paleozoico a Cuaternario	Basamento continental autóctono (cratón) con secuencias sedimentarias y volcanosedimentarias de facies continentales y marinas.	U depósitos sedimentarios; Au paleoplaceres del Eoceno; Au placeres Cuaternarios
Oriente	Iquitos	Plioceno-Cuaternario	Cuenca trasarco con sedimentos fluvio-lacustres sobre basamento continental autóctono (cratón).	Au placeres

MGP (Metales del Grupo del Platino)

4.3 Metalogénesis

Tipos de mena magmatogénicos de los Andes Centrales están presentes en cinturones longitudinales claramente definidos, dominados de occidente hacia este por Fe, Cu-(Au-Mo), Cu-Pb-Zn-Ag y Sn-(W-Ag-Bi). Se cree que estos cinturones se relacionan en profundidad a una zona de subducción estable de bajo buzamiento. Por contraste, la resolución de la zonación metalogénica, tanto espacial como temporal, puede complicarse no sólo por el intercalamiento tectónico de terrenos con diferentes características de origen, sino también por diferentes eventos magmáticos en respuesta a la evolución geodinámica.

Se puede describir la distribución espacial de los metales en los Andes Ecuatorianos (Fig. 7) en términos de tres parámetros interactivos:

(a) Características y génesis de los terrenos huéspedes tectono-estratigráficos. La subdivisión del Ecuador en dos provincias metalogénicas principales[20,21] refleja este criterio: (a) Fe, Pt, Cr, Ti, Cu, Mo, Pb, Zn, Au, Ag que caracterizan los ambientes de arco y antearco de la provincia oceánica del occidente. (b) Au, Cu-Mo, Fe, Pb, Zn, Ag, Sn, W, Tierras Raras, U-Th que caracterizan los ambientes de arco y trasarco de la provincia continental del Oriente.

Esto está amplificado en la Tabla 5 donde se catalogan las asociaciones metalíferas y tipos de depósitos en términos de diferentes características de los terrenos. Se considera que el patrón general regional transversal refleja una influencia creciente hacia el este de corteza continental; un rasgo mayormente no afectado por la intervención atenuada de los terrenos oceánicos Alao y Salado los cuales están tectónicamente intercalados con corteza continental y donde las menas indican un significativo componente continental.

(b) Evolución tectono-magmática. Se pueden relacionar estrechamente las diferentes fases de deposición de mena con las etapas sucesivas de actividad magmática-hidrotermal. Esto se resume en la Tabla 6 donde se han reconocido seis eventos principales: Triásico, Jurásico tardío, Cretácico medio, Eoceno, Oligoceno-Mioceno temprano y Mioceno tardío-Plioceno con un variado grado de superposición. Magmatismo y mineralización de cobre porfídico en los Andes del Norte migraron progresivamente hacia el occidente desde el Jurásico medio a tardío hasta el Eoceno y luego revirtieron su dirección durante el Cenozoico tardío una vez que la configuración actual fue establecida[25]. Como resultado, los terrenos litotectónicos del Ecuador exhiben características metalogénicas híbridas. Se muestra en la Fig. 8 el patrón de sub-cinturones de pórfidos cupríferos correlacionado con Colombia y Perú. La evolución post Eoceno es comparable con los Andes Centrales y del Sur.

(c) Nivel de erosión[10]. En general los cinturones magmáticos más antiguos están más erosionados que aquellos asociados con pulsos magmáticos más jóvenes produciendo una pseudozonación aparente, por ejemplo, con depósitos mesotermales relacionados a intrusivos más erosionados y antiguos, topográficamente bajo mineralización epitermal relacionada a un volcanismo relativamente más joven. Así, los cinturones volcano-plutónicos de la Cordillera Real y los intrusivos más jóvenes del margen occidental de la Cordillera Occidental representan niveles más profundos de erosión, mientras los intrusivos más jóvenes de las elevaciones principales de la Cordillera Occidental tienen una erosión menos profunda y el graben interandino y el cinturón de Au-Ag-polimetálicos representados por los terrenos Chaucha y Alao están caracterizados por mineralización epitermal de poca profundidad (<1 km de profundidad) aunque los pórfidos (2-5 km de profundidad) en algunos sectores pueden estar expuestos en segmentos más profundos.

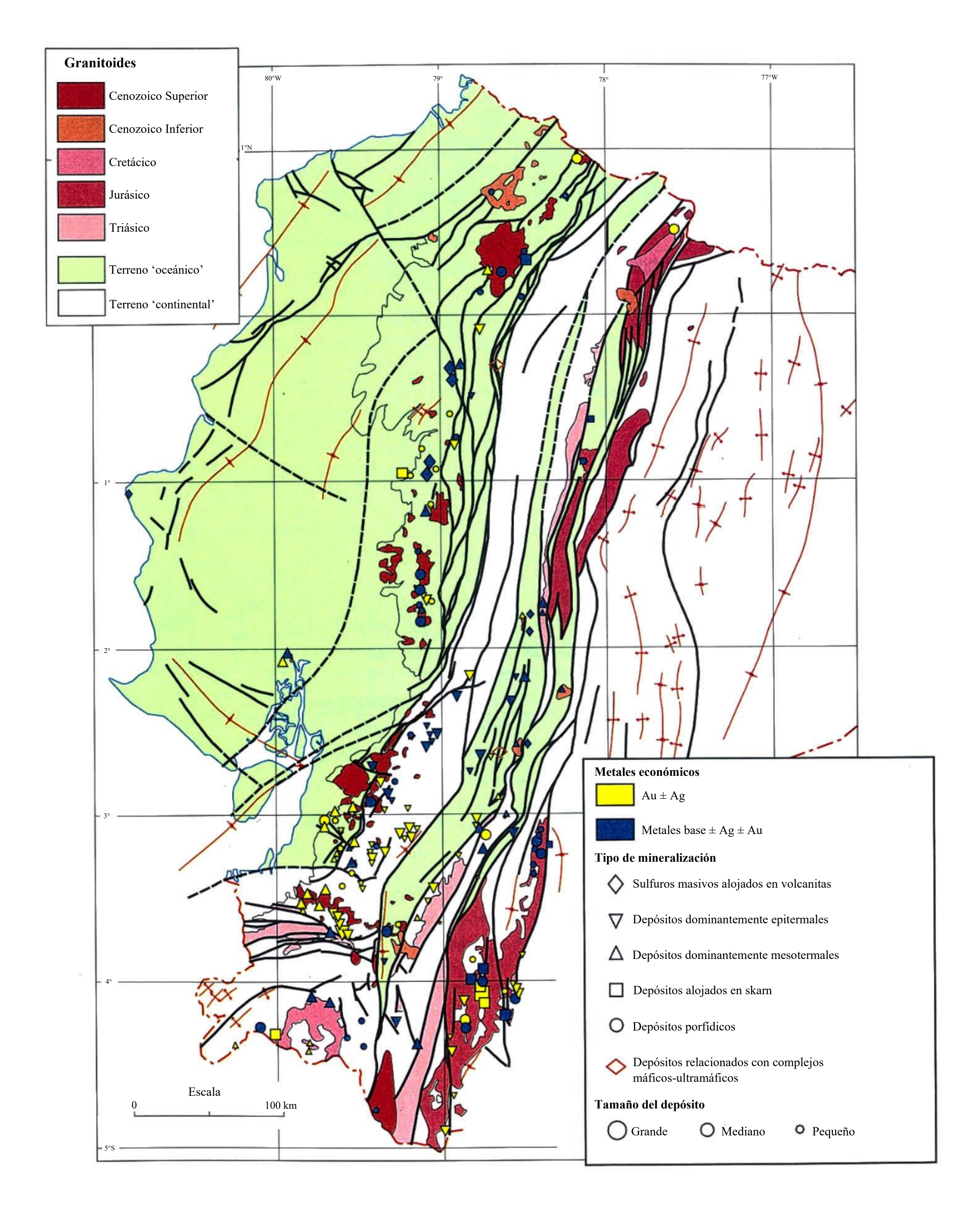


Figura 7. Mapa tectono-metalogénico simplificado del Ecuador
(sin placeres y depósitos residuales)

Tabla 6. Resumen de la evolución tectono-metalogénica del Ecuador

Intervalo (Ma)	Evento geotectónico	Metalogénesis
Cenozoico superior (<19 Ma)	Zumbagua: Subducción/volcanismo, extensión seguida por compresión regional y levantamientos	Au ± Pt & Fe + Ti (placeres); Ag, Au, Cu, As (Sb, Hg, Se, Pb, Zn) (epitermales); Cu ± Mo ± Au (pórfidos: sub-cinturón central-occidental)
Cenozoico medio (38-19 Ma)	Saraguro: Subducción, volcanismo continental (Sur), sedimentación (Norte) y plutonismo (tipo-I)	Au (paleoplaceres); Au, Ag, Cu, Zn, Pb, As, Sb, (Bi, Te) (epitermales); Cu ± Au ± Mo ± W (pórfidos: sub-cinturón central-occidental)
Cenozoico inferior (65-38 Ma)	Macuchi: Subducción, acreción oblicua de arco de isla/cuenca marginal; intrusiones máficas y félsicas	Au ± Ag, Cu, Zn, Pb (epitermales); Cu + Zn + Pb + Ag + Au (VHMS); Cu ± Mo ± Au (pórfidos: sub-cinturón occidental); Au ± Bi (skarns); MGP (intrusiones máficas-ultramáficas)
Cretácico superior (85-65 Ma)	Pallatanga (Evento B): Subducción, acreción de corteza oceánica; levantamiento y erosión	Au ± Pt (paleoplaceres); Fe + Cu ± Au (VHMS); Ni, Cr (MGP) (ofiolitas); U (sedimentaria)
Cretácico medio (115-85 Ma)	Celica: Volcanismo y plutonismo de cuenta tipo "pull-apart"; sedimentación y plutonismo continental	Au, Ag, Zn, Pb, (Sb, Mn) (epitermales); Au (Bi-Te) (skarns); Cu ± Au ± Mo (pórfidos : sub-cinturón central)
Cretácico inferior (140-115 Ma)	Peltetec (Evento A): Acreción del terreno Chaucha con corrimientos/transpresión	Au (vetas mesotermales en zonas de cizalla); Zn, (Cu, Mo) (skarn klippen)
Jurásico superior (190-140 Ma)	Zamora-Azafrán: Arco magmático continental; sedimentación continental (tipo "red bed")	Fe + Cu ± Au (skarns); Cu ± Mo ± Au (pórfidos: sub-cinturón oriental)
Jurásico inferior (228-190 Ma)	Salado: Secuencia de arco de isla/cuenca marginal; prisma de acreción	Fe + Cu + Pb + Zn ± Ag ± Au (VHMS)
Triásico (228 Ma)	Tres Lagunas-Moromoro: Tectonometamorfismo regional y plutonismo (tipo-S)	Sn + W (granito tipo-S), Au ± Sb (vetas mesotermales en zonas de cizalla)

Tabla 7. Ejemplos de algunas de las principales áreas de minería metalífera en el Ecuador

Campo minero	**Campo mineral y/o Distrito**	**Tipo de depósito y tipo de mena**	**Producción histórica**	**Leyes típicas**	**Periodo de producción**	**Extensión de desarrollo**
Macuchi	La Plata	Sulfuro masivo lenticular y subvertical (reemplazamiento de brecha). Depósito VHMS o epitermal HS	ca. 3.0 t Au 32.1 t Ag 24250 t Cu	11.6 g/t Au 68 g/t Ag 5.0 % Cu	(Colonial) 1940-1946	ca. 6 km de túneles ca. 120 m extensión vertical
Chinapintza	Pachicutza Zamora	Sistema epitermal de baja sulfuración de brecha y veta Au-polimetálica	ca. 12 t Au Ag biprod. (ca. 180 t) (Zn, Pb, Cu)	19 g/t Au 126 g/t Ag 4.6 % Zn 0.55 % Pb	1984 al presente	>10 km de túneles ca. 350 m extensión vertical
Condominios de Nambija	Nambija Zamora	Oro epitermal en 'stringers' de cuarzo y cuerpos de estilo manto alojado en skarn	ca. 62 t Au Ag biprod.	22 g/t Au (>100 g/t Au en clavos)	(Inca/Colonial) 1981 al presente	ca. 120 km de túneles ca. 300 m extensión vertical
Portovelo-Zaruma	Portovelo El Oro	Sistema (meso)-epitermal de baja sulfuración de veta Au-polimetálica	ca. 160 t Au ca. 330 t Ag (Cu, Pb, Zn)	25 g/t Au 63 g/t Ag 1.0 % Cu 1.7 % Zn	1549 al presente (1904-1965)	>180 km de túneles ca. 1000 m extensión vertical
San Bartolomé	Cañar-Azuay	Sistema epitermal de baja sulfuración de brecha y veta Au-polimetálica	ca. 53 t Ag Au biprod. (Zn, Pb, Cd)	560 g/t Ag 0.55 g/t Au 2.9 % Zn 1.15 % Pb	1989-1994	ca. 4 km de túneles ca. 100 m extensión vertical
Bella Rica	Ponce Enríquez Azuay	Sistema (epi)-mesotermal de vetas auríferas relacionado con pórfidos	ca. 28 t Au *(ca. 50 t Au)* Ag biprod. (Cu, As, Pb, Zn)	26 g/t Au 24 g/t Ag 0.5 % Cu	1982 al presente	>35 km de túneles ca. 800 m extensión vertical
San Gerardo	Ponce Enríquez Azuay	Vetas auríferas epi-mesotermales de baja sulfuración subhorizontales	ca. 9 t Au Ag biprod. (Sb)	27 g/t Au	(Colonial) 1994 al presente	ca. 15 km de túneles ca. 800 m extensión vertical
Tres Chorreras	Tres Chorreras-La Playa Azuay	Chimeneas de brecha Au-polimetálica (epi)-mesotermal ricas en turmalina	ca. 1 t Au (Cu, Mo)	8 g/t Au	1982 al presente	Tajo abierto y túneles

5

SISTEMAS PORFÍDICOS DE Cu ± Mo ± Au

La importancia económica de depósitos porfídicos de cobre junto con la estrecha relación de skarns, vetas, brechas y reemplazamientos conteniendo enargita son prominentes en los Andes.

5.1 Depósitos porfídicos

Los modelos descriptivos de depósitos porfídicos de cobre están disponibles en Cox[33a,b] y Pantaleyev[46]. También se pueden obtener los perfiles de los Depósitos Minerales Porfídicos en la página web: http://www.em.gov.bc.ca/geology/Economic%20geology/Metall. La ley y tonelaje de los depósitos de pórfido de cobre de la Columbia Británica, Canadá y Alaska, USA pueden ser consultados en la página web: http://greenwood.cr.usgs.gov/pub/open-file-reports/ofr-93. Para un resumen de los modelos genéticos véase Gustafson & Hunt[36]. Sutherland Brown[53] and McMillan & Pantaleyev[40].

Los sistemas porfídicos ecuatorianos están descritos usando la subdivisión morfológica generalmente aceptada en tres clases que se basan en la profundidad de formación (0.5-5.0 km) - volcánico, clásico (o hipoabisal) y plutónico.

Hay una relación demostrable, espacial y genética, entre los depósitos de pórfido de cobre y el magmatismo relacionado con la subducción a lo largo de la costa oriental del Pacífico. El segmento tectónico al norte de la Deflexión de Huancabamba tiene una historia de subducción diferente y por consiguiente hay un patrón espacial diferente/tiempo de intrusión y mineralización de cobre a los de los Andes centrales-meridionales. Por lo menos cuatro diferentes épocas de mineralizaciones de cobre relacionadas con intrusiones correspondientes a sub-cinturones curvilíneos discretos caracterizan los Andes del Norte en Colombia[25] (Fig. 8). Estos sub-cinturones siguen hacia el sur dentro del Ecuador e incluyen:

(i) Un sub-cinturón occidental del Eoceno Inferior-Medio (55-40 Ma) ej. Batolito Río Santiago.

(ii) Un sub-cinturón oriental generado durante el Jurásico Medio-Superior (166-144 Ma) ej. Batolito Zamora.

(iii) Un sub-cinturón central-oriental escasamente definido del Cretácico Inferior (136-131 Ma) a lo largo del lado este de la Cordillera Central, que en el Sur se junta con (y sobreimprime) la Cordillera Oriental y el sub-cinturón oriental, ej. granito Condué.

(iv) Un sub-cinturón central formado durante el Mioceno Medio al Plioceno inferior (17-5 Ma) en el contacto entre los dominios oceánico y continental en la Depresión Cauca-Patía y sus flancos, ej. batolitos Apuela y Chaucha.

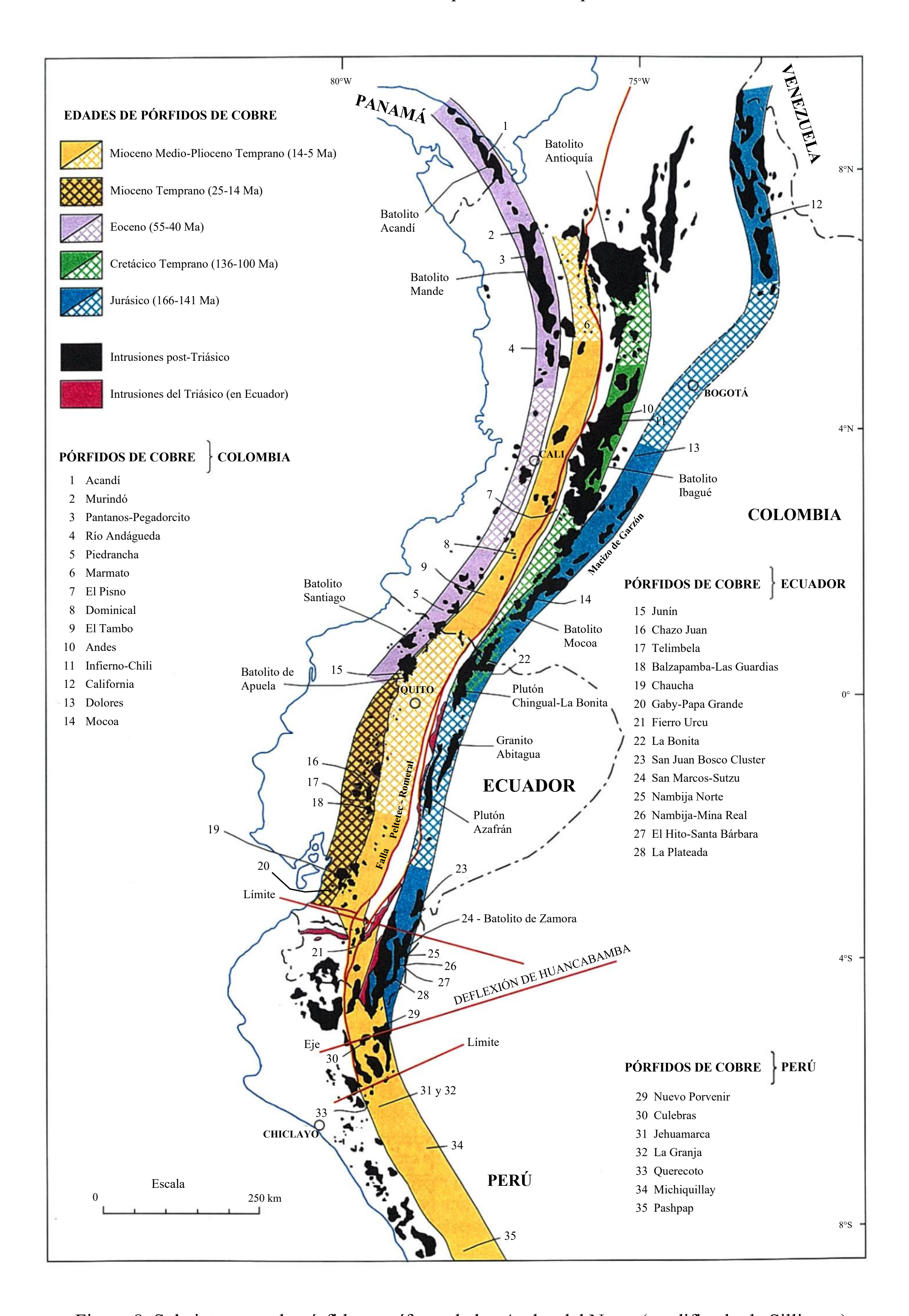


Figura 8. Subcinturones de pórfido cupríferos de los Andes del Norte (modificado de Sillitoe[25])

Se puede trazar este sub-cinturón hacia al sur a través del segmento Catamayo, ej. Batolito Portachuela en el Perú septentrional (Fig. 8). También fue tentativamente definido dentro del Ecuador un sub-cinturón de edad Mioceno medio-temprano (ej. Grupo Telimbela-Balzapamba: 21-15 Ma) con plutones precursores con un rango de edad desde el Oligoceno Inferior[16d]. Este ocupa una posición entre los sub-cinturones central y occidental y es coherente con el patrón general de migración post-Eoceno Medio hacia el este que es una característica mayor de los Andes centro-meridionales.

Los rasgos principales de algunos depósitos de pórfido Cu ± Mo ± Au en los sub-cinturones central y occidental de la Cordillera Occidental y el sub-cinturón oriental de la Cordillera El Cóndor se presentan en las Tablas 8 y 9 respectivamente.

Los depósitos de pórfidos de cobre dentro de los Andes ecuatorianos tienen un rango de tipos desde volcánicos subalcalinos Cu + Au ± Mo (dioritas) hasta plutónicos calco-alcalinos Cu + Mo ± Au, (granodiorita-cuarzomonzonita) con la mayoría yaciendo dentro del campo composicional calcoalcalino potásico. Las intrusiones precursoras son dominantemente cuarzodiorita a granodiorita. Un rango de sub-tipos morfológicos ocurre en entornos geológicos contrastantes y sus integrantes podrían tener edades ampliamente diferentes Los sistemas porfídicos varían entre los miembros finales **ortomagmático** (>95% magmático, fluidos de salinidad moderada a alta @ 400-750°C) ej. Gaby y, **convectivo** (>95% meteórico, fluidos de salinidad baja @ 250-450°C) ej. Junín y Tumi.

La mayoría exhibe un establecimiento temprano de un centro potásico y un halo propilítico periférico acompañado por una zonación de metales Cu/Fe y/o Cu/Pb + Zn. Las paragénesis de mena para un rango de tipos de pórfidos son parecidos al esquema de El Salvador[36]. Diferencias en el estilo y distribución total de la mineralización-alteración hipogénica se deben largamente a la introducción tardía de las fases intrusivas o brechas asociadas y/o permeabilidad de la roca de caja, las cuales determinan largamente el grado de sobreimpresión y removilización por procesos convectivos.

5.1.1 Sistemas de pórfidos de tipo volcánico

Están típicamente asociados con diversos tipos de brecha y reemplazados preferencialmente por rocas con una mayor permeabilidad (primaria o inducida estructuralmente). Las envolturas metamórficas termales son generalmente más pronunciadas. Otros rasgos que pueden estar presentes incluyen estructuras volcánicas arqueadas, geometría intrusiva de jarras panzudas, depósitos extrusivos próximos a la chimenea y centros subvolcánicos. En algunos casos, las rocas volcánicas podrían no estar preservadas (ej. Gaby). También son indicativos la preservación de un caparazón de alteración argílica avanzada y transiciones de nivel alto en mineralización Au + Ag ± Cu epitermal, ej. Fierro Urcu.

5.1.2 Sistemas de pórfidos del tipo plutónico

Están invariablemente localizados en las intrusiones batolíticas y en grandes plutones a niveles relativamente profundos (≥ 2km), aunque diques y cuerpos de brecha relacionados pueden ocurrir a niveles poco profundos. Diferentes pulsos de magma pueden mostrar composiciones contrastantes como un resultado de diferenciación (ej. Junín). Las brechas son generalmente escasas o ausentes y donde están presentes son tardías o post-mineralización. La mineralización suele estar asociada con zonas de falla y/o juegos de diques. La alteración propilítica es extensa pero discreta; silicificación y alteración filítica/argilítica están estructuralmente controladas y son típicamente tardías como bordes o salbandas a las velillas de “stockwork” y fracturas.

Ninguno de los depósitos de pórfidos de Cu + Mo± Au ecuatorianos puede ser considerado como "clásico" en términos de las ocurrencias de pórfidos de cobre del suroeste americano[54], aunque muchos muestran rasgos coherentes con emplazamiento a niveles hipoabisales. Ellos se designan en las Tablas 8 y 9 como "volcánico" o "plutónico", pero están calificados cuando es apropiado como que pertenecen a niveles hipoabisales. En la Fig. 9 se presentan perfiles esquemáticos de una variedad de modelos porfídicos de estado final en el Ecuador. En general, los efectos de enriquecimiento supergénico tienden a ser limitados debido a los bajos contenidos de sulfuros y/o a las rápidas tasas de erosión y rebajas de la mesa de agua tales que mucho del cobre se fija en la zona de oxidación.

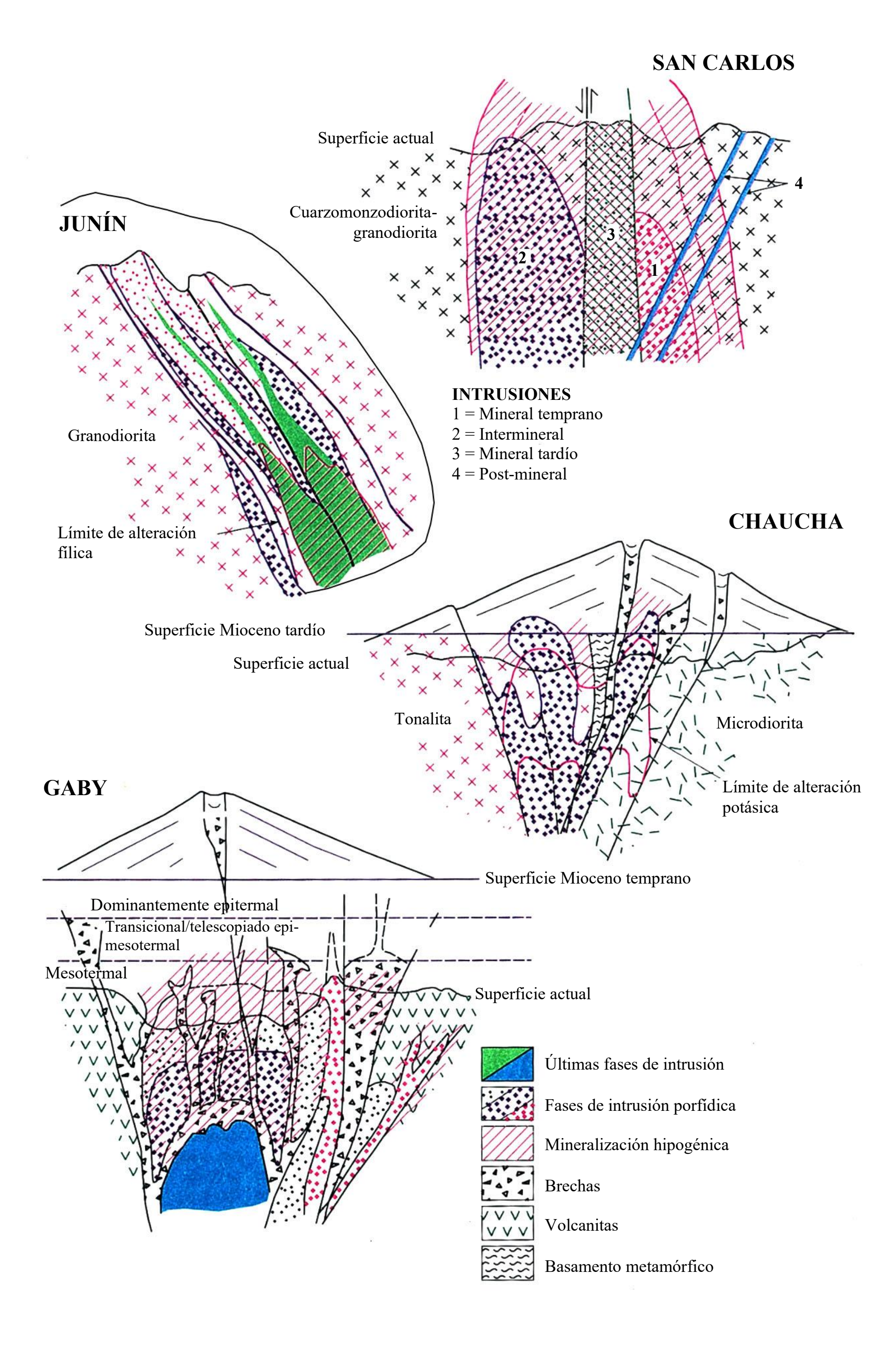


Figura 9. Modelos de depósitos porfídicos de cobre en el Ecuador



Foto 1. Muchos de los depósitos metalíferos del Ecuador son típicos de ambiente volcánico (Vista del Chimborazo)



Foto 2. Investigación en ambiente de páramo, en la Cordillera Occidental

Tabla 8. Depósitos de pórfido de cobre seleccionados en la Cordillera Occidental

Nombre/ Campo mineral	Código	Distrito Sub-cinturón	Clase de depósito	Edad	Metales	Marco tectónico	Entorno geológico	Reservas probables
Junín Apuela	6	Imbaoeste Central	Plutónico (hipoabisal)	Mioceno Tardío	Cu-Mo	Terreno Pallatanga: Corteza oceánica alóctona con secuencias turbidíticas de abanico submarino	Batolito de Apuela-Nanegal (tipo-I). Diseminaciones y "stockworks" asociados con un complejo de diques y lentes porfídicos (comp. Gd-Di)	319 Mt @ 0.71 % Cu & 0.026 % Mo Ley de corte 0.4% Cu (JICA/MMAJ, 1998)
Chaucha Molleturo	46	Azuay Central	Plutónico	Mioceno Medio	Cu-Mo (Au)	Terreno Chaucha: Prisma de acreción Peltetec-Palenque de origen dominantemente continental	Batolito de Chaucha (tipo-I); lado E de la falla Bulubulu. Diseminaciones y "stockworks" asociados con cuerpos de diorita y dacita porfídica.	40.9 Mt @ 0.58% Cu Naranjos (Fluor Daniel Wright, 1994) 43.4 Mt @ 0.54 % Cu Gur Gur (Billiton, 1998) Ley de corte 0.4 % Cu
Gaby y Papa Grande Ponce Enríquez	53 y 214-216	Azuay Occidental-Central	Volcánico (hipoabisal)	Mioceno Temprano	Cu-Au (Mo, Ag)	Terreno Pallatanga: Corteza oceánica alóctona (asociación ofiolítica) fragmentada por fallas	Complejo de brecha-pórfido: fases de pórfido (comp. Gd-Di) en forma de jarros panzudos a tapones y diques. Mineralización de brecha y "stockwork".	165 Mt @ 0.73 g/t Au & 0.12 % Cu Ley de corte 0.5 g/t Au (Ecuadorian Minerals Corporation, 1997)
Fierro Urcu Catamayo	131	Azuay Central	Volcánico	Mioceno Medio	Cu-Au (Ag)	Terreno Alao: Sinclinal de Chuquiribamba entre los sistemas de fallas Girón y Baños (Falla de Catamayo)	Complejo intrusivo (Gd-Di) con un centro de hidro-brechificación y un "stockwork" periférico de mineralización hospedad en un stock riolítico/riodacítico	53.5 Mt @ 0.2 % Cu & 0.3-0.6 g/t Au (Minera Marshall del Ecuador, 1972)

Tabla 9. Depósitos de pórfido de cobre en el Distrito Zamora, Cordillera El Cóndor (Arco magmático continental del margen del cratón)

Nombre/ Campo mineral	Código	Tipo	Edad	Metales y minerales	Entorno geológico	Control estructural	Características de la alteración y mineralización
San Carlos San Juan Bosco	159	Plutónico	Jurásico Tardío	Cu-Mo py, cp > mo > pirr, bn	Batolito de Zamora (tipo-I): mineralización asociada con un conjunto de fases tardías de intrusión añadidas (comp. QMz-MzDi) como vetas y "stockworks"	Fallas (N-S) de escala distrital vinculadas con el frente subandino	Núcleo potásico rico en Cu (Kf + cz + flg + mgt + cp + mo) y zona exterior propilítica (cz + cal + chl + ep + py) localmente superpuesta por asociaciones fílicas-propilíticas (cz + ser + fen + ill + chl + py + cp ± mo) de fases más tardías
Cumay Nambija Norte	138	Plutónico (hipoabisal)	Jurásico-Cretácico?	Cu (Mo) py, cp, mo > pirr, bn	Batolito de Zamora (tipo-I): mineralización asociada con un conjunto de fases tardías de intrusión añadidas (comp. QMz-MzDi) como vetas y "stockworks"	Graben (N-S) post-intrusión del cinturón Nambija	Núcleo potásico rico en Cu (Kf + cz + bi + mgt + cp ± mo) parcialmente sobreimpreso por una zona de alteración fílica (ser + cz + py + cal + chl) la cual es transicional con una zona propilítica periférica (alb + cal + chl + ep +py)
Tumi (C. Colorado) Nambija Sur	273	Volcánico	Jurásico-Cretácico?	Cu-Au (Ag) py > cp > gn, mo, pirr	Complejo de brecha-pórfido riodacítico dentro de volcanitas que forman parte del techo del batolito de Zamora. Mineralización de brecha, veta, "stockwork" y MSR	Graben (N-S) post-intrusión del cinturón Nambija	Núcleo potásico subaflorante (Kf + flg + msc + py + cp). Zonado dominado por alteración fílica (ser + fen + prg + ill + cp) pasando hacia arriba a fílica-argílica (ser-ill-mm) superpuesto en alteración potásica-propilítica (chl Mg/Int + ep + py)
El Hito y Santa Bárbara Pachicutza	147	Plutónico (hipoabisal)	Jurásico-Cretácico?	Cu (Au) py > cp, spl, mo	Pórfido riodacítico dentro de una secuencia volcanosedimentaria del techo del batolito de Zamora. Mineralización en vetas, "stockworks" y diseminaciones	Fallas (N-S) de escala distrital vinculadas con el frente subandino	Centro de alteración fílica-argílica (ill + ser + fen + py + cp ± mo) rodeado con un halo propilítico (chl Int + py). Hay vetas tempranas que llevan Kf y bi (flg) pero todavía no ha sido reconocido un núcleo potásico

5.2 Depósitos epi-mesotermales relacionados

Los depósitos epi-mesotermales relacionados con intrusiones constituyen una clase general de depósitos con una relación espacial y genética demostrable con intrusiones mineralizadas y sin mineralizar. Las condiciones de deposición del mineral se extienden dentro de los límites de los parámetros de los regímenes epitermal y mesotermal. Esto puede deberse ya sea a una amplia superposición o a eventos sucesivos comunes en sobreimpresión de características epitermales tardías y/o en características de reemplazamiento mesotermal. Están ausentes características típicas de ambientes epitermales superficiales. Se puede considerar que estos depósitos representan un ambiente transicional en el continuum entre intrusión hipotermal – o alojada en pórfido – y dominios epitermales. Históricamente, skarns, brechas hidrotermales y sistemas de vetas han sido las fuentes principales de producción de metales y todavía permanecen como el foco de la industria minera de pequeña escala en el Ecuador (Tabla 7).

El campo mineral de Zaruma-Portovelo es históricamente el distrito más importante y productivo en el Ecuador (ver Tabla 7). Se encuentra descripciones geológicas publicadas de Zaruma-Portovelo en Billingsley[4], Van Thournout et al.[29,30], y MEM/PRODEMINCA1[16d]. Mineralización económica epi-mesotermal en vetas con Au-Ag-Cu-Pb-Zn ocurre en el lado oriental (y NE) de un área central silicificada y argilizada dentro de propilitización penetrativa a escala regional y se extiende continuamente por sobre 15 km N-S con un espesor máximo de 4 km y una extensión vertical conocida de 1400 metros. Se atribuye la extensión vertical anormalmente grande a fallamiento en bloques post mineral.

La mineralización en vetas está alojada en los volcánicos del Grupo Saraguro que sobreyacen inconformemente al Complejo Metamórfico El Oro y que están fallados contra las rocas metamórficas en el sur a lo largo del Sistema de Fallas Piñas-Portovelo. Evidencia isotópica también sugiere un evento magmático post-Saraguro en el Mioceno medio. Van Thournout et al.[29,30] informan que los volcánicos están cortados por los stocks, diques y sills riolíticos comagmáticos que se concentran en dos focos principales que se alinean al NW y se centran en los cerros Santa Bárbara y Zaruma Urcu. Estos han sido reinterpretados como capas remanentes silíceas.

La Falla Piñas-Portovelo (P-P) con rumbo WNW-ESE constituye el límite sur del sistema de vetas auríferas. La Falla Puente Busa - Palestina (P-B-P), situada 10 km al norte de la Falla P-P, es de la misma edad, orientación y sentido de movimiento.

El sistema de vetas ha sido localizado por un amplio salto dilatacional N-S entre estas fallas en respuesta a un componente dextral[30] de movimiento lateral. Inflexiones brutas y el desplazamiento sinistral neto del sistema principal de vetas por la falla P-B-P ocurrió durante un episodio tectónico subsecuente asociado con el régimen de subducción de dirección E-W en el Terciario tardío.

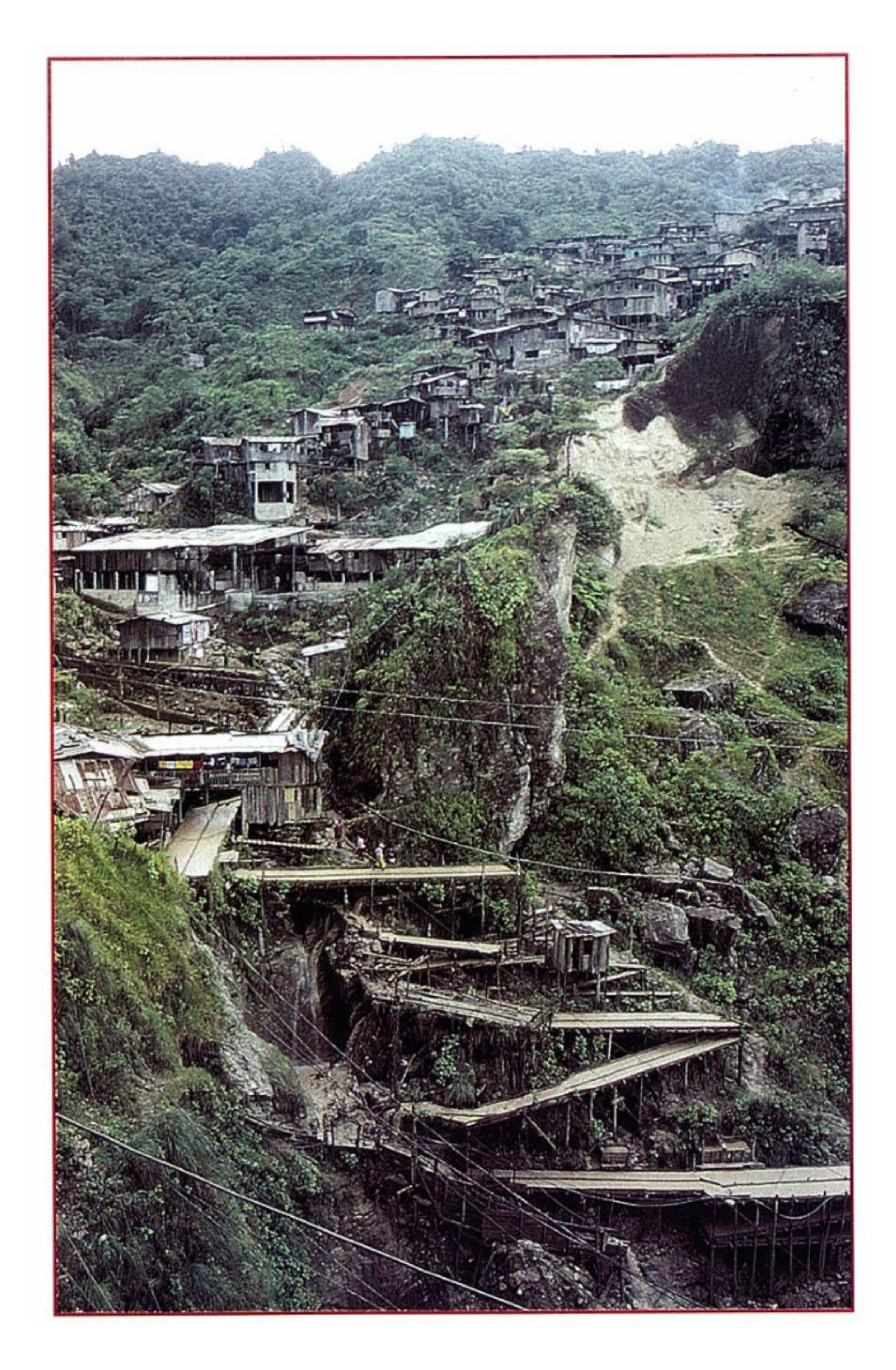


Foto 3. Vista hacia el oeste a lo largo del Río Nambija del asentamiento minero de Nambija con los trabajos del sector El Playón (lado derecho)

La principal mineralización económica consiste de oro libre, oro asociado con sulfuros y sulfosales de plata. Las vetas muestran típicamente texturas de relleno de espacios abiertos y reflejan ciclos repetidos de deposición de mena. En los sectores de inflexión NW-SE las vetas son más estrechas y exhiben bandas de rotura-sellado más que relleno de espacios abiertos. No hay una aparente zonación vertical, pero es evidente una variación lateral que es consistente con la evolución paragenética del cinturón mineralizado[30]. Piritización de stockwork y estéril diseminado centrados alrededor de Santa Bárbara y Zaruma Urcu y asociados con silicificación penetrativa, están flanqueados por una zona arqueada de vetas de cuarzo ± adularia ricas en sulfuros y conteniendo Au, que comprende el eje Portovelo-Zaruma y una aureola externa grande de vetas auríferas de cuarzo ± carbonato ± clorita con abundantes sulfosales y escasos sulfuros. Asociaciones de vetas mesotermales (320-380°C) ricas en sulfuros con oro refractario pre-datan rellenos de vetas epitermales (180-310°C) de baja sulfuración las cuales son más ricas en metales preciosos y se caracterizan por oro libre/electrum. Ambos tipos de mineralización aurífera están presentes en la zona del núcleo y frecuentemente se encuentran dentro de la misma veta. Indicadores cinemáticos consistentemente indican movimientos sinistrales-normales oblicuos durante la etapa epitermal tardía de desarrollo de vetas.

El modelo más reciente para Zaruma-Portovelo[30] define una estructura de tipo caldera y contrastantes asociaciones de mineralización que se interpretan como sistemas reflejantes mesotermal pre-caldera y epitermal post-caldera. Sin embargo, no hay evidencia de una estructura circular ni de desplazamiento de contactos litológicos en las márgenes de la supuesta caldera. Isótopos estables indican un origen ígneo y derivación magmática de los fluidos paleo-hidrotermales, pero con una influencia incrementalmente fuerte de aguas meteóricas. La evidencia apoya un sistema relacionado con intrusión.

Los sistemas de vetas auríferas epi-mesotermales de Bella Rica y San Gerardo están alojados en bloques fallados adyacentes al Terreno Pallatanga. En Bella Rica (Fig. 10) hay una clara relación espacial y genética con el complejo pórfido-brecha Cu ± Au ± Mo de Gaby-Papa Grande en términos de las características paragenéticas y de alteración-mineralización. La mineralización es dominantemente mesotermal (Au + Cu + Ag ± As ± Zn ± Pb ± Bi-Te) con texturas epitermales de espacios abiertos y características mineralógicas que llegan a ser incrementalmente más comunes en los niveles más altos del sistema. La proximidad a las intrusiones hacia el norte y a profundidad es evidente por el advenimiento de metamorfismo termal, diques de andesita/microdiorita, stockworks mineralizados y alteración biotítica en las estructuras de vetas mayores. La zonación mineral lateral y vertical (ej. pirita vs. pirrotina, contenido de turmalina, etc.) y metálica (Zn + Pb vs. Cu) pueden también relacionarse a la proximidad con la intrusión. La situación del sistema de vetas puede deberse a la reactivación extensional de estructuras comprensivas NW-SE del Cenozoico temprano (ej. rampas de cabalgamientos de bajo ángulo causadas por levantamiento magmático).

La mineralización aurífera del campo minero San Gerardo (800-1650 msnm) está asociada con los complejos intrusivos-extrusivos dacíticos-riodacíticos del Grupo Saraguro, la zona de falla rellena de serpentinita de Río Chico de rumbo NW y estructuras relacionadas. La mineralización de Au +As ± Sb comprende vetas de cuarzo-carbonato auríferas pobres en sulfuros (vetas de brecha, vetas laminadas de rotura-sellado, relleno de fisuras y zonas de alargamiento). Las vetas mineralizadas al sur de la Falla de Río Chico están principalmente alojadas en fallas NNW a WNW de cabalgamiento de bajo ángulo estructuras de rampa asociadas, generadas durante compresión/transpresión dextral de rumbo NE-SW. Fases extensionales regionales subsecuentes y rotación horaria del campo lejano de esfuerzos llevaron a la reactivación de estas estructuras tempranas (sentido sinistral de movimiento lateral) y a la brechación tectónica e hidráulica bajo condiciones epitermales.

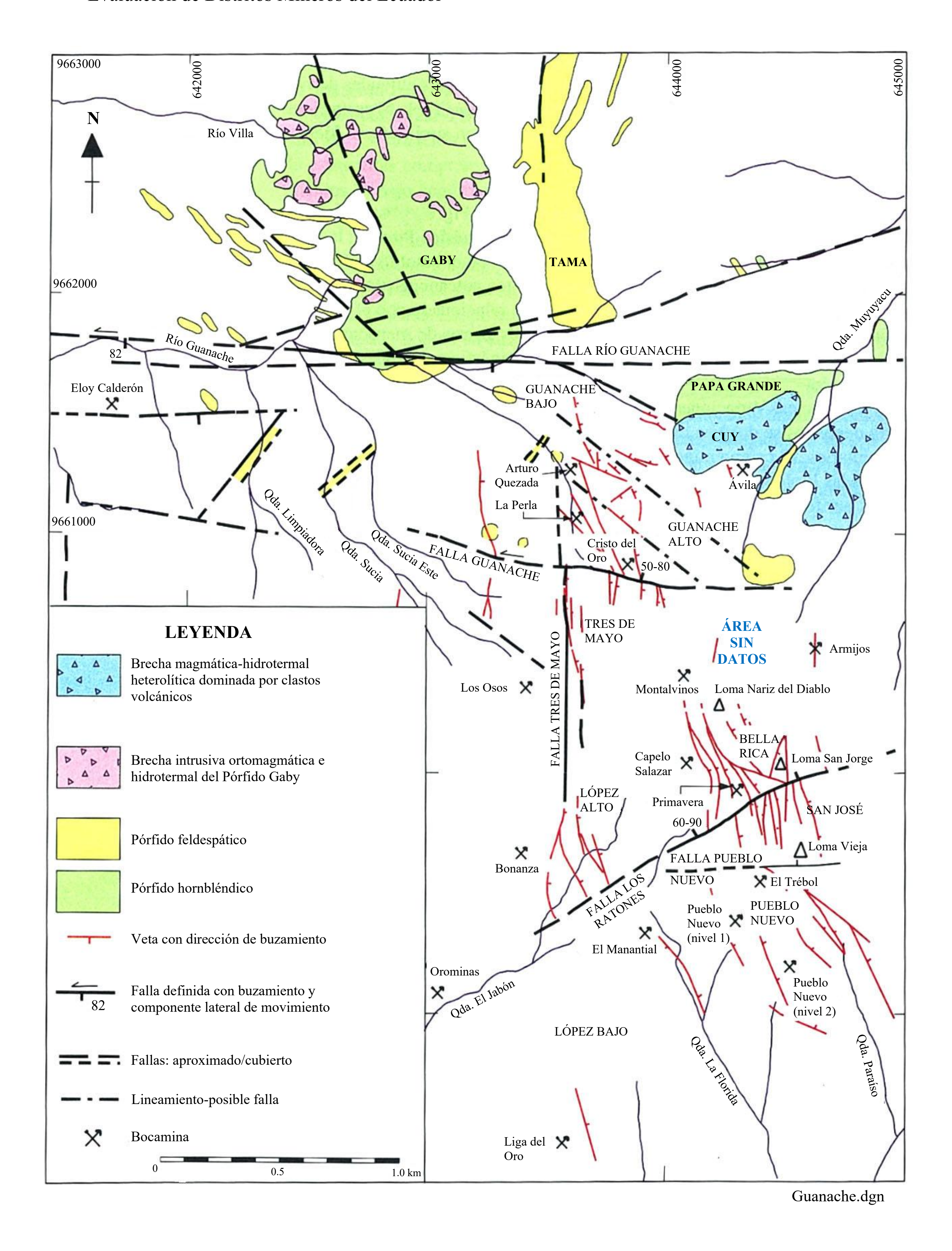


Figura 10. Mapa geológico simplificado del campo minero Gaby-Bella Rica, Ponce Enríquez

Las brechas mineralizadas varían desde apéndices menores de depósitos hasta partes económicamente dominantes de algunos sistemas porfídicos. La mayoría de las brechas son cuerpos circulares tipo chimenea, lentoidales u ovoides con buzamientos pronunciados o verticales. Otras simetrías incluyen diques, cuerpos irregulares, caparazones a tapones y configuraciones anulares alrededor de zonas de núcleo no brechadas.

Las chimeneas mineralizadas (Au-Cu-Mo ± W) de brechas mesotermales, ricas en turmalina están espacial y genéticamente relacionadas con cuerpos intrusivos subvolcánicos a lo largo de zonas principales de falla/cizalla con rumbo andino. Las brechas tienen forma de chimenea y de caparazón y son en su mayoría de tipo magmático-hidrotermal. El principal grupo de chimeneas de brecha ocurre dentro del Cinturón Tres Chorreras-La Playa que sigue el Sistema de Fallas Bulubulu. Están alojadas en los volcánicos del Grupo Saraguro y yacen a lo largo de lineamientos de falla/fractura con rumbo NW, cerca o en las intersecciones con los abanicos extensionales de fallas con rumbo SW a WSW del Sistema Bulubulu (Fig 12a). Las brechas tocan fondo en "stockworks" mineralizados alojados en intrusiones (ej. La Tigrera). La chimenea de brechas Peggy yace dentro de la Zona de Cizalla Baños, una estructura regional de rumbo NNE-SSW y, está asociada con pequeñas intrusiones y diques de pórfido riolítico intensamente alterado, de edad Oligoceno medio. La situación de la chimenea de brechas Peggy está relacionada con fracturas transversales de rumbo WNW.

Información general sobre depósitos alojados en skarns, sus características esenciales, criterios de clasificación y guías de exploración se puede encontrar en Einaudi et al.[34], Meinert[41,42] y la página WEB http://www.wsu.edu:8080/-meinert/skarnHP.html. Para información detallada sobre skarns con oro ver Meinert[43] y la página web http://natural.gov.bc.ca/geosmin/metalmin/auskarns/lauskt.

Mineralización alojada en skarn es conocida en el distrito La Plata de la Cordillera Occidental, el distrito Zamora en la Cordillera El Cóndor y en fragmentos (klippen) de las napas Cuyuja en la parte septentrional de la Cordillera Real. Se han desarrollado skarns de metales base (Cu, Zn, Mo) en volcánicos máficos de la Unidad jurásica Misahuallí y la correlacionada Unidad Upano del Terreno Salado en asociación con los batolitos tipo-I comagmáticos de Zamora y Azafrán-Chingual-La Bonita respectivamente. El cobre predomina en las ocurrencias del skarn de Zamora (5 prospectos) y zinc en los campos de skarn septentrionales. Skarns auríferos se conocen en Ximena en el Terreno del arco Macuchi y en el cinturón de Nambija en el SE del Ecuador.

Ximena es un típico skarn aurífero reducido similar a Hedley y Fortitude en Norte América. Aproximadamente 2.3 t se han extraído de los campos aluviales derivados principalmente de este skarn de piroxeno dominante. Nambija (Tabla 6) es un ejemplo de clase mundial de un sistema de skarn aurífero oxidado con similitudes a McCoy en Nevada y Red Dome en Australia[16c].

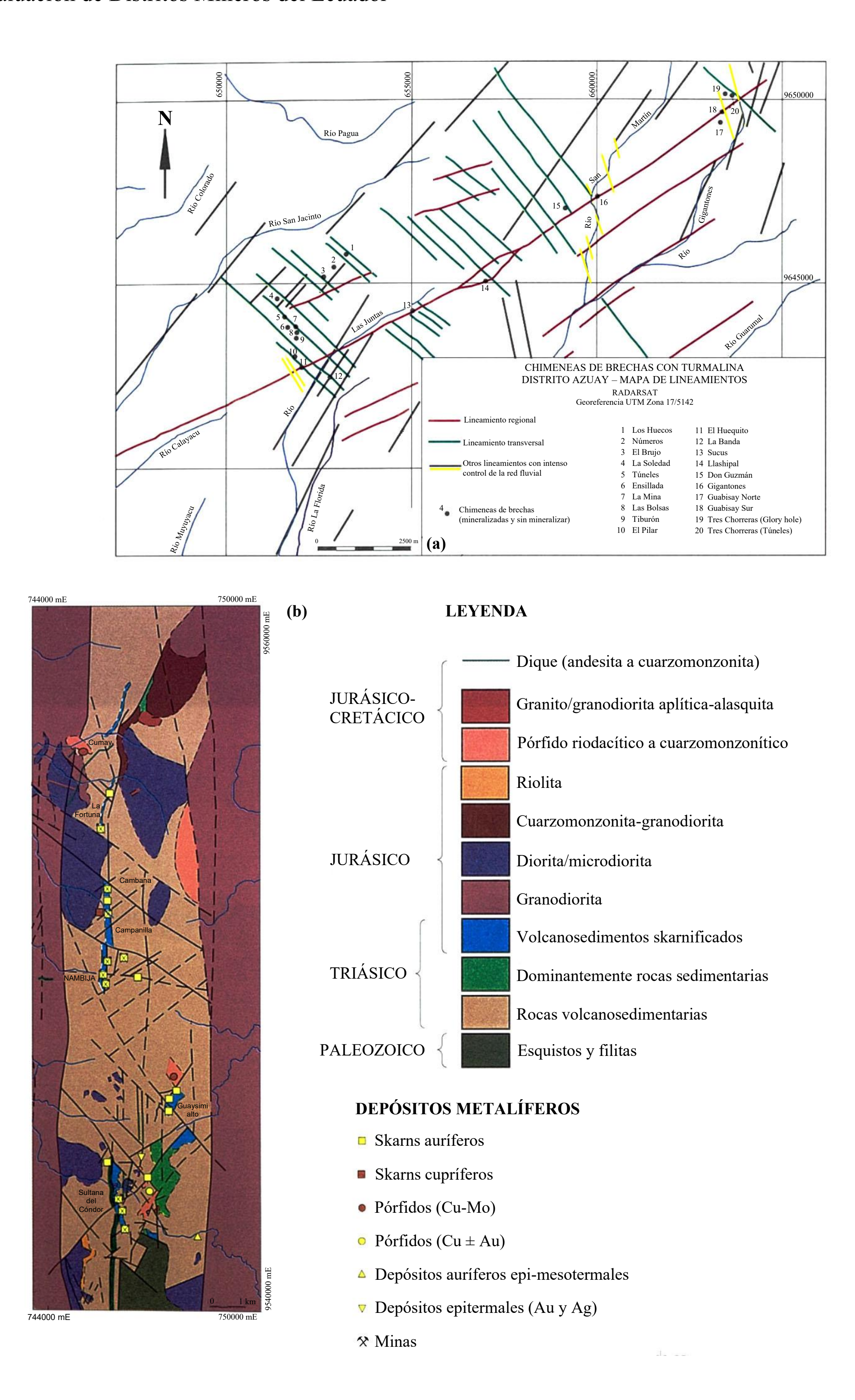


Figura 11. (a) Interpretación a base de imágenes satelitales de lineamientos estructurales en relación con chimeneas de brecha conocidas en el cinturón Tres Chorreras-La Playa. (b) Mapa geológico y de ocurrencias minerales del cinturón Nambija

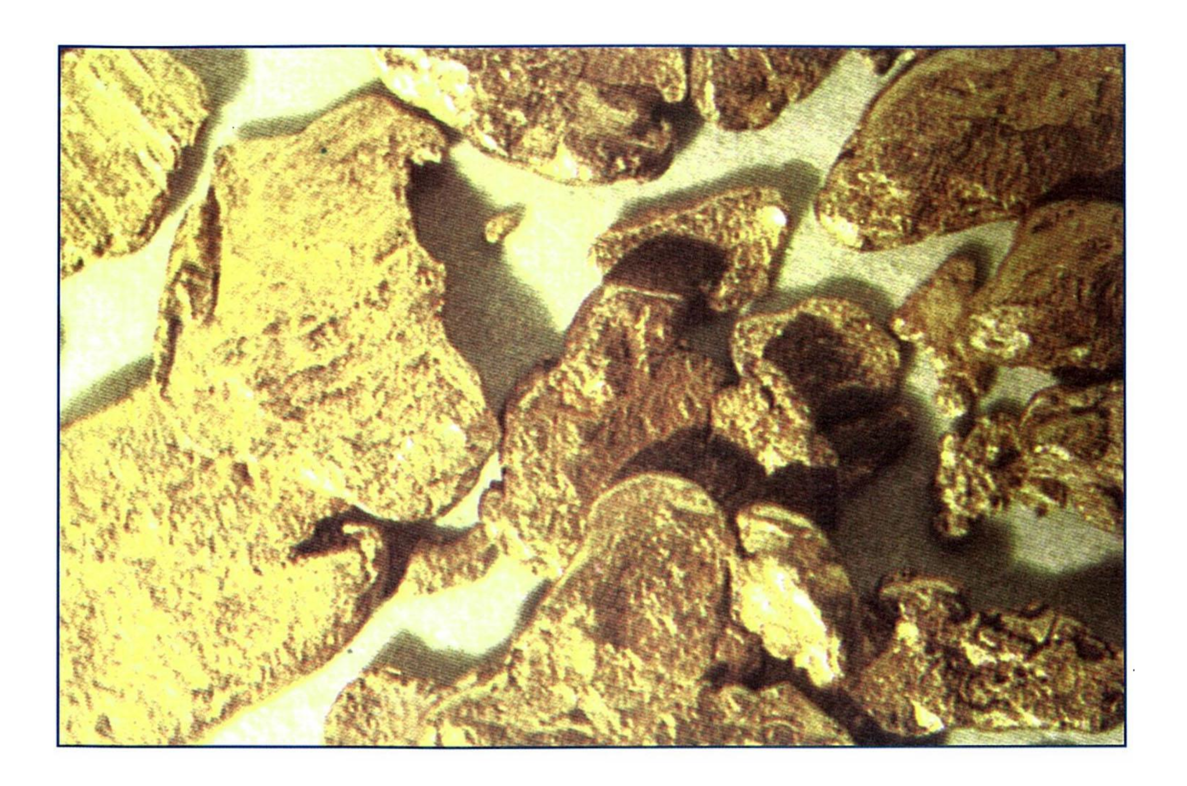


Foto 4. Oro aluvial del sur del Ecuador

Depósitos de skarn aurífero del **cinturón de Nambija** (Fig. 11b) están alojados en rocas volcanosedimentarias metamorfizadas de la Unidad Triásico Piuntza, las cuales ocurren como techos colgantes preservados como graben en el batolito de Zamora. Los protolitos del skarn son las intercalaciones de sedimentos volcanoclásticos ricos en cal. El contenido de lima parece estar fundamentalmente relacionado con el grado de skarnificación y con la subsecuente deposición de oro. Los skarns de mena son reemplazamientos estrato-ligados o estilo manto de skarns metamórficos iniciales adyacentes a las fallas y a intrusiones menores hipoabisales/stocks de pórfidos de cobre de edad Jurásica a Cretácica. Variaciones espaciales en el estilo y extensión de los skarns de mena entre depósitos se deben a cambios de facies y composición de los protolitos volcanosedimentarios. El campo minero de Nambija está óptimamente localizado donde el espesor de las litologías huéspedes es mayor y tiene el más alto contenido de lima. Los skarns auríferos de Nambija son exo-skarns cálcicos, generalmente con bajas razones de clinopiroxeno:grandita. Los piroxenos y sus productos de alteración son relativamente ricos en Mn. Pirita es el sulfuro dominante y localmente los skarns contienen magnetita. El oro alojado en skarn se caracteriza por muy bajos contenidos de plata y está localmente acompañado por teluros de Bi.

El oro se introdujo en las unidades skarnificadas a lo largo de fallas extensionales muy inclinadas a verticales bajo condiciones epitermales y fue acompañado por propilitización retrograda de la asociación de skarn. Las ocurrencias de skarn aurífero principalmente yacen a lo largo de estructuras con rumbo NE y ENE, en menor grado a lo largo de estructuras N-S, en las intercepciones de estas estructuras y con las estructuras de rumbo NW. Estructuras NE y ENE tienden a ser dilatacionales y por tanto son sitios particularmente favorables para la mineralización con menas localizadas en las inflexiones, en juegos de fallas/fracturas *en echelon* y dentro de dúplexes extensionales.

6

DEPÓSITOS EPITERMALES

Sistemas de mineralización epitermal en ambientes volcánicos generalmente se forman a profundidades menores que 1 km y a temperaturas en el rango 100-300°C. El sistema está dinamizado por una fuente de calor magmático de poca profundidad y la mineralización económica de metales preciosos se lleva a cabo dentro de un intervalo estrecho o cerca de la superficie donde los fluidos metalíferos están sujetos a cambios químicos y físicos profundos. Esta guía se adhiere a la ampliamente aceptada clasificación basada en la química de los fluidos que subdivide estos depósitos en de alta sulfuración (ácido-sulfato)-HS y de baja sulfuración (adularia-sericita)-LS[37,38]. La caracterización de los tres subtipos epitermales LS siguen el esquema de Sillitoe[49]. Una revisión de los depósitos epitermales de los Andes Centrales fue presentada por Ericksen & Cunningham[35] y se ha hecho un resumen comparativo de depósitos seleccionados en Perú septentrional y en Ecuador (MEM/PRODEMINCA[16b]). Los depósitos epitermales descritos en este capítulo están lo suficientemente lejos en tiempo y/o en espacio de los intrusivos epizonales para preservar enteramente los rasgos composicionales, de alteración, mineralógicos y texturales epitermales.

Se puede encontrar mineralización epitermal en toda la cordillera andina del Ecuador, pero es más común en los terrenos 'continentales' o en aquellos con un piso de corteza continental y una secuencia más joven de cobertura volcánica calcoalcalina a sub-alcalina. Las edades de los depósitos tienen un rango desde Cretácico medio hasta fines del Mioceno y la mineralización epitermal reconocida como más antigua se encuentra en Chinapintza dentro la cordillera subandina de El Cóndor al lado de la frontera oriental con Perú. El Grupo Saraguro de edad Eoceno-medio a Mioceno-medio, que se depositó directamente sobre el basamento 'continental' de los terrenos Chaucha y Loja y la cuña tectónica intermedia de volcánicos de arco de isla oceánica Alao, son huéspedes particularmente favorables para mineralización de oro epitermal en el sur de Ecuador.

Los depósitos epitermales mayormente ocurren en, o adyacentes a, depresiones volcano-tectónicas (graben o semi-graben) de dirección andina ej. cinturón Gañarín. Éstas típicamente representan estructuras "pull-apart" que resultan por movimientos de fallas de desplazamiento en dirección dextral oblicua a lo largo de zonas de cizalla dúctiles (o suturas) reactivadas. Depósitos epitermales conocidos, particularmente de tipo LS, tienen una relación espacial y genética demostrable con intrusiones subvolcánicas y sistemas de Cu porfídico.

Dentro del terreno Chaucha, los tipos de HS se agrupan alrededor de los centros volcánicos Miocénicos tardíos en las partes centrales y septentrionales del distrito Pucará-Alausí (ej. Quimsacocha, Angas, Chunchi, etc.). Sin embargo, el prospecto El Mozo en el terreno Loja no muestra evidencia de una chimenea volcánica o domo intrusivo proximal, pero está asociado con una zona de falla regional (Baños). Ejemplos dentro del terreno Alao también están asociados con fallas andinas (ej. Pilzhum) o sistemas de pórfidos Cu-Au subyacentes (ej. Fierro Urcu). Depósitos epitermales de HS no han sido reconocidos en el distrito Zamora (sierras subandinas) y dada la falta de volcanismo Cenozoico tardío y el nivel de erosión, su ocurrencia o preservación en este sector se considera improbable.

(a)

W
E
Cerro Mozo
paleosuperficie (3600 m)
zona vadosa
paleo-nivel freático
Au
Au
Au
superficie actual
(3000 m)
límite de
la alteración
hidrotermal
límite de la
alteración silícea
250°C
120°C
basamento
Entrada de agua
meteórica fría
0
1 km
escala aproximada

LEYENDA
Alteración de sílice vuggy
Alteración argílica en la zona vadosa
Stocks y diques de dacita
Brechas de falla
Rocas volcanoclásticas-epiclásticas (Grupo Saraguro Oligoceno-Mioceno)
Basamento, metagranitos de Tres Lagunas (Triásico-Jurásico)
Falla
Falla Inferida
'Hot spring' de sulfato ácido
Fumarola

(b)

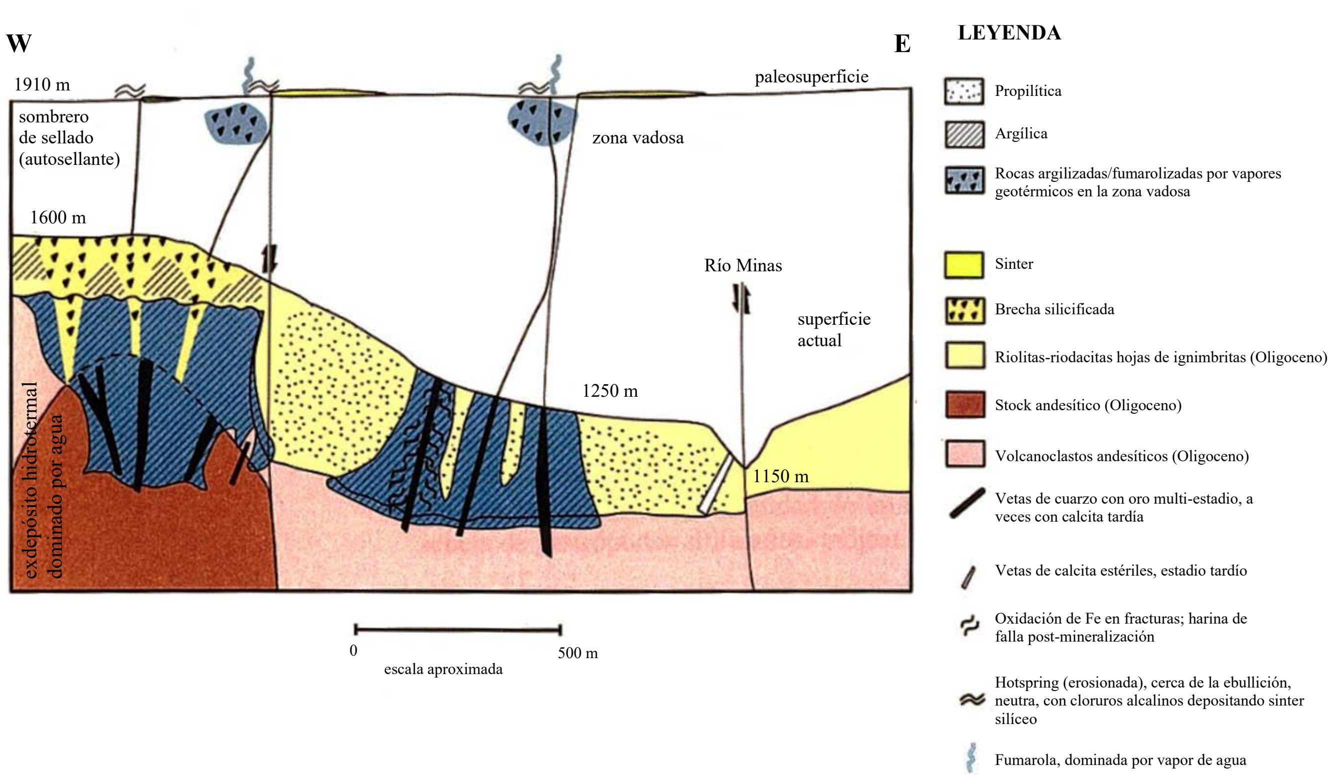


Figura 12. Modelos de depósitos epitermales. (a) Sección esquemática del depósito epitermal de HS de El Mozo. (b) Sección esquemática del depósito epitermal de baja sulfuración de Gañarín

6.1 Quimsacocha y El Mozo[16b]

Exhiben zonación de alteración, texturas minerales y mineralogía típica de mineralización epitermal del estilo HS. La distribución de la mineralización está fuertemente influenciada por estructuras empinadas y por la mejor permeabilidad relacionada a la alteración de sílica geodal. Asociaciones argilíticas avanzadas, principalmente cuarzo-alunita-caolinita, ocurren marginalmente a la sílica geodal y pasan lateralmente hacia alteración argilítica dominada por caolinita. La mineralización en Quimsacocha está relacionada con el desarrollo de una caldera y fue emplazada en fallas, fracturas, diatremas y varios cuerpos de brecha de origen tectónico e hidrotermal. No hay evidencia de intrusiones resurgentes tardías ni domos volcánicos y por lo menos una parte de la mineralización pre-data el colapso de la caldera.

En El Mozo (Fig.12a) están expuestos dos niveles del sistema epitermal: un nivel más profundo que muestra rasgos de mineralización de una zona periférica mayormente limitada por estructuras, y un nivel más alto y más cercano al centro del sistema que comprende zonas más extensas de alteración asociada con mineralización aurífera.

El patrón de sub-cinturones metalogénicos basado en la distribución espacial de tipos epitermales de LS es evidente en el Ecuador al igual que en otras partes de los Andes centrales y septentrionales.

Tipos de LS Au ± Ag pobre en sulfuros, mayormente ocurren en los terrenos continentales de Chaucha y Loja mientras que tipos de LS ricos en sulfuros y dominados por Ag-Zn-Pb se han desarrollado mayormente en el terreno oceánico de Alao. También se encuentran tipos ricos en sulfuros en el terreno oceánico de Pallatanga (ej. Molleturo) y en entornos de cuencas de rift - arco magmático continental (ej. Chinapintza).

Ejemplos de depósitos epitermales de LS pobres en sulfuros incluyen Beroen (Campo Mineral Molleturo), Gañarín y Cañaribamba (Cinturón Gañarín).

6.2 Beroen[16b]

En este depósito los volcánicos del Grupo Saraguro están extensamente alterados sobre un intervalo vertical de más de 1100 metros (Fig. 12b). La alteración tiene una zonación vertical bien marcada desde propilítica en los niveles más bajos, a través de una zona silicificada intermedia, hasta de extensa argilización dominantemente penetrativa en los niveles por encima del sistema. La mineralización Au-Ag de grado bonanza está mayormente desarrollada en zonas empinadas estructuralmente controladas y caracterizadas por fases múltiples de silicificación, brechación y desarrollo de vetas en los niveles intermedios del sistema. El origen de la mineralización está vinculado a intrusiones dioríticas de alto nivel, probablemente relacionadas al batolito Chaucha del Mioceno medio-tardío.

6.3 Gañarín[16b]

Este depósito comprende un sistema de vetas y zonas de alargamiento empinadas, estructuralmente controladas, que contienen altos grados de Au-Ag. Texturas de reemplazamiento de carbonato y rellenos de espacios abiertos, mineralogía simple y ocurrencia local de adularia son típicos de depósitos de LS de veta bonanza. Se preserva un caparazón de sílica brechada de 50 m que sugiere que la superficie actual está dentro de los 200-300 m del techo del sistema. La mineralización en Gañarín da una edad del Mioceno temprano y probablemente está relacionada con el desarrollo de la caldera Jubones y de intrusiones asociadas.

6.4 Cañaribamba

Se interpreta como una compleja diatrema de *maar* con la mineralización hospedada dentro de vetas asociadas con una estructura transversal en la brecha diatrema[26]. Está situado dentro del Cinturón Gañarín sobre la margen oriental de la caldera Jubones en la proximidad de un domo riolítico. Población de clastos[26] y presencia de gastrópodos silicificados[24] indican un ambiente cercano a la superficie.

Ejemplos de depósitos epitermales de LS ricos en sulfuros incluyen San Bartolomé (Cañar), Molleturo y Chinapintza (Pachicutza).

La mineralización en vetas de Ag-Pb-Zn de **San Bartolomé** (Tabla 6) expone muchas de las características asociadas con otros sistemas de veta portando plata en todo lo largo de la Cordillera Andina. La mineralización está hospedada en volcánicos del Grupo Saraguro y asociada con un ramal de la Falla Peltetec de dirección NNE. La evidencia de inclusiones fluidas indica que la mineralización probablemente estuvo asociada con magmas graníticos de tipo S17. San Bartolomé, en base a la mineralogía de mena y a texturas de reemplazamiento distintivas, ha sido comparado a los depósitos Sn-Ag de Bolivia.

La mineralización de "stockwork", brecha y veta Au-Ag-Pb-Zn-Mn en el campo minero de **Chinapintza**[16d] (ver Tabla 6) yace en un complejo subvolcánico-volcánico del Cretácico medio con sistemas de vetas de dirección NW alojados principalmente dentro de intrusiones porfídicas de andesita-dacita. El batolito Zamora de edad Jurásica, que forma el basamento del complejo, también está cortado por vetas-fallas mineralizadas y brechas hidrotermales alojadas en diatremas. Las rocas han sufrido extensa alteración fílica y argílica. Los sistemas de vetas están cercanamente asociados con intrusiones tardías de pórfido riolítico que ocupan las mismas estructuras mineralizadas. Las vetas típicamente se ensanchan y se bifurcan hacia arriba y pasan localmente a zonas más extensas de stockworks/alargamientos y brechas con leyes bonanza cerca de la superficie. La mineralización en los suprayacentes volcánicos silíceos y sub-silíceos más permeables es más difusa y generalmente sub-económica. Sobre un rango vertical de 300 metros es evidente una zonación metálica de Au:Ag. Estos y otros parámetros indican que el sistema ha sufrido ≥ 200 metros de destecho.

En resumen, los ejemplos de depósitos mencionadas exhiben un control prominentemente estructural en la localización de alteración y mineralización. Parece que la mineralización estilo diseminación o reemplazamiento en gran volumen de las unidades permeables es raro. La mayoría de los depósitos conocidos han sufrido erosión (glaciación) y eliminación total o parcial de los niveles superiores del sistema epitermal.

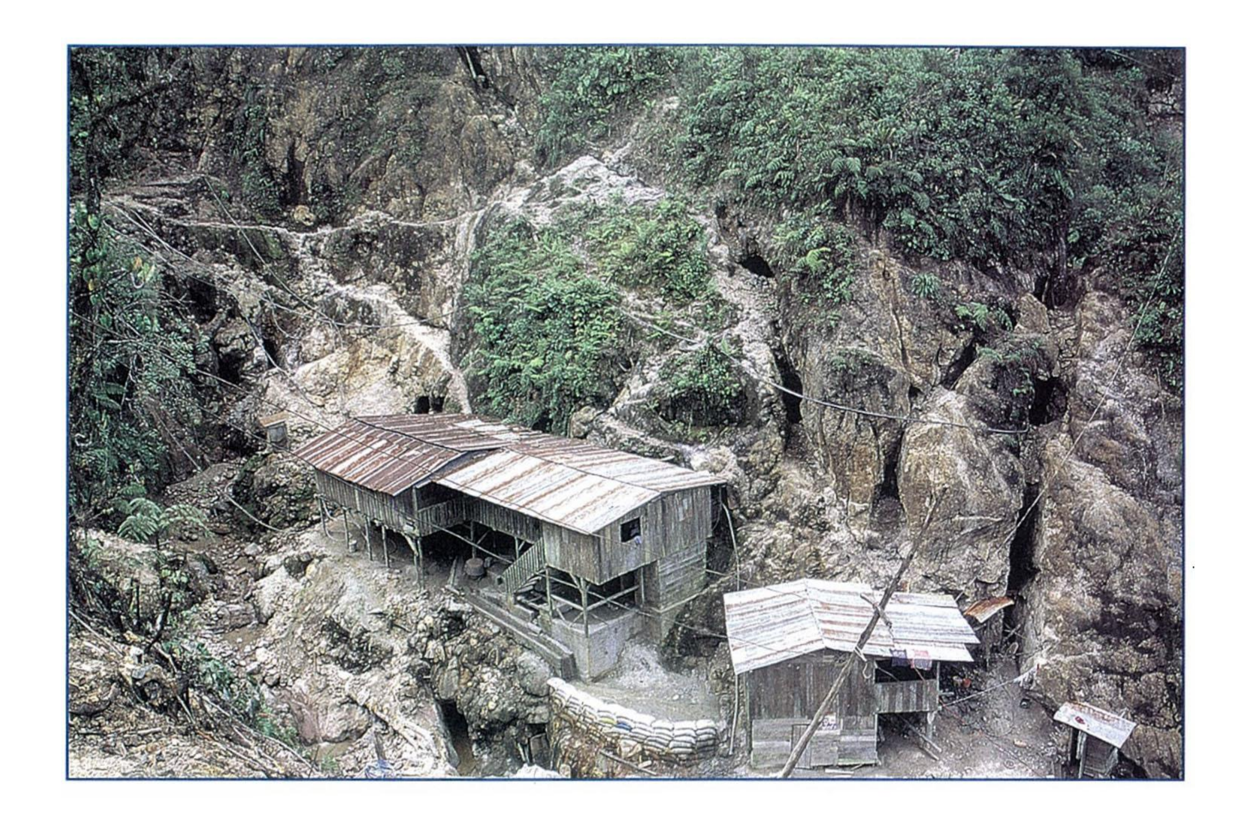


Foto 5. Vista de los trabajos a cielo abierto en el sistema de vetas Peñaloza-Ecuaminas del lado SE de la Quebrada Pangui Alto, Campo Minero Chinapintza. La quebrada sigue un sistema de fallas-vetas transversales ENE-WSW

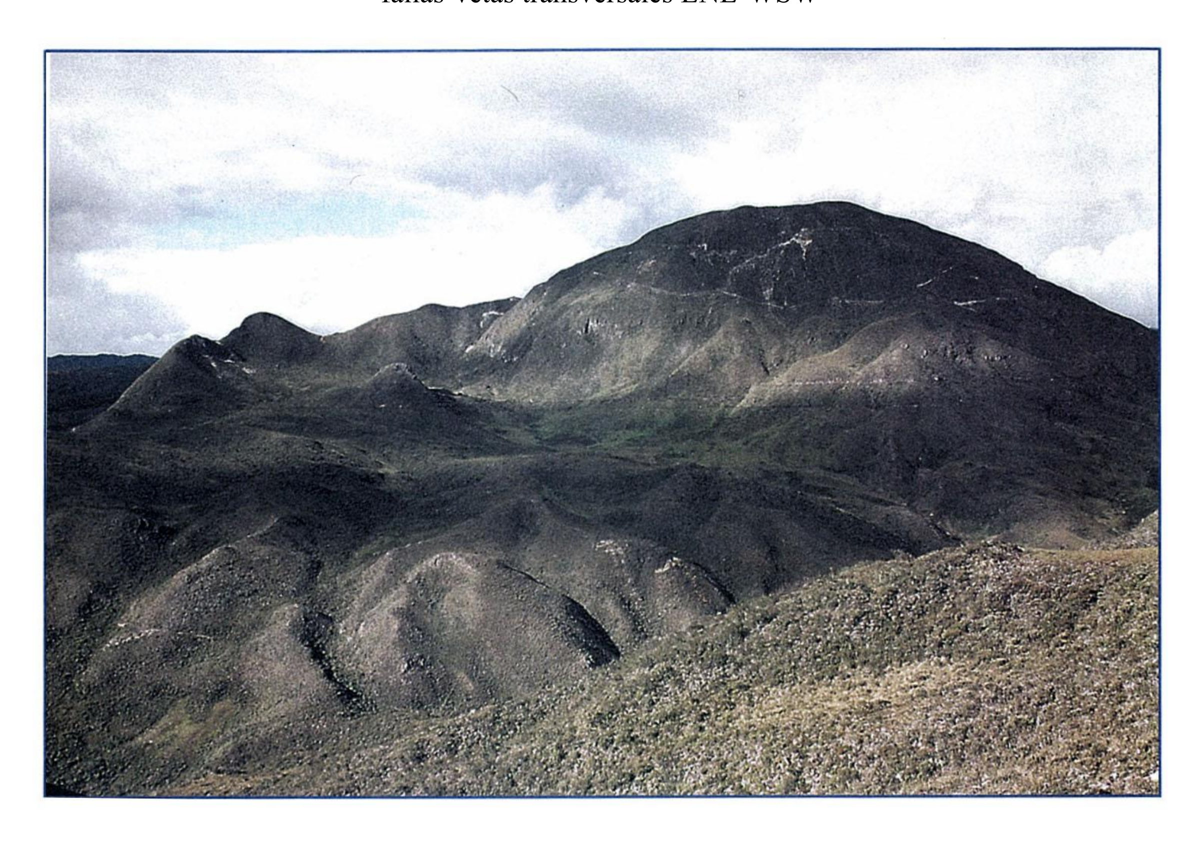


Foto 6. Cerro El Mozo visto desde el WSW. Los parches blancos sobre las laderas son cascajo silicificado de trincheras de exploración

7

DEPÓSITOS DE SULFUROS MASIVOS ALOJADOS EN VOLCANITAS (VHMS)

Depósitos VHMS comprenden cuerpos minerales con más de 60% de sulfuros los cuales son típicamente estrato-conformes y siempre están asociados con rocas volcánicas. Conforman una clase más general que incluye depósitos SMV pero su génesis no parece directamente vinculada con actividad volcánica. Esta guía utiliza la clasificación[48] que define los tipos Kuroko, Besshi y Chipre basada en la tipología del depósito. Se pueden encontrar perfiles descriptivos completos en los modelos de depósitos minerales de los servicios geológicos de EEUU[33c,50] y Columbia Británica, Canadá[39]. Una subclase llamada Sierran Kuroko[51] descrita en los EEUU occidental se distingue del tipo Kuroko por un tamaño mucho más pequeño. Se han revisado las características de las clases de depósito VHMS y su génesis en el informe técnico MEM/ PRODEMINCA[16c].

Los depósitos en las dos cordilleras de los Andes ecuatorianos son principalmente del tipo Sierran Kuroko (Fig.13) pero todas han sufrido deformación en tal medida que su arquitectura original no es reconocible. Estos depósitos están hospedados en rocas submarinas de depresiones volcanotectónicas o cuencas marginales asociadas con arcos de isla (ej. Macuchi y Alao) que se han acrecionado al continente en diferentes etapas de la evolución tectónica relacionada con subducción. En comparación con los ejemplos clásicos, las rocas sedimentarias asociadas son escasas y ninguno de los cuerpos de sulfuros masivos están envueltos por pizarras negras (lutitas grafitosas). Los contenidos de metales preciosos, particularmente oro, son relativamente altos en los ejemplos ecuatorianos.

No se han reconocido stockworks de alimentación subyacentes y zonado de metales base en los cuerpos de sulfuros masivos. Envolturas extensas de alteración son evidentes solamente en el depósito La Plata en una extensión de hasta 10 km a lo largo del mismo rumbo. En otros depósitos tectónicos, estos rasgos se han borrado u obscurecido en gran parte por desmembramientos. En las dos cordilleras hay correspondencia entre los depósitos y las estructuras andinas regionales.

Los depósitos VHMS que han sido explotados en la Cordillera Occidental ocurren dentro de la Unidad Macuchi y datan del Paleoceno con una acreción final que ha tenido lugar antes del Eoceno medio. Los depósitos La Plata (Toachi & Henry) y Macuchi (Esperanza, Mercedes, Patiño, Potrero & Minchoa) parecen ocurrir a lo largo del rumbo de un mismo miembro estratigráfico y definen un cinturón de ca. 80 km de extensión (Fig. 14).

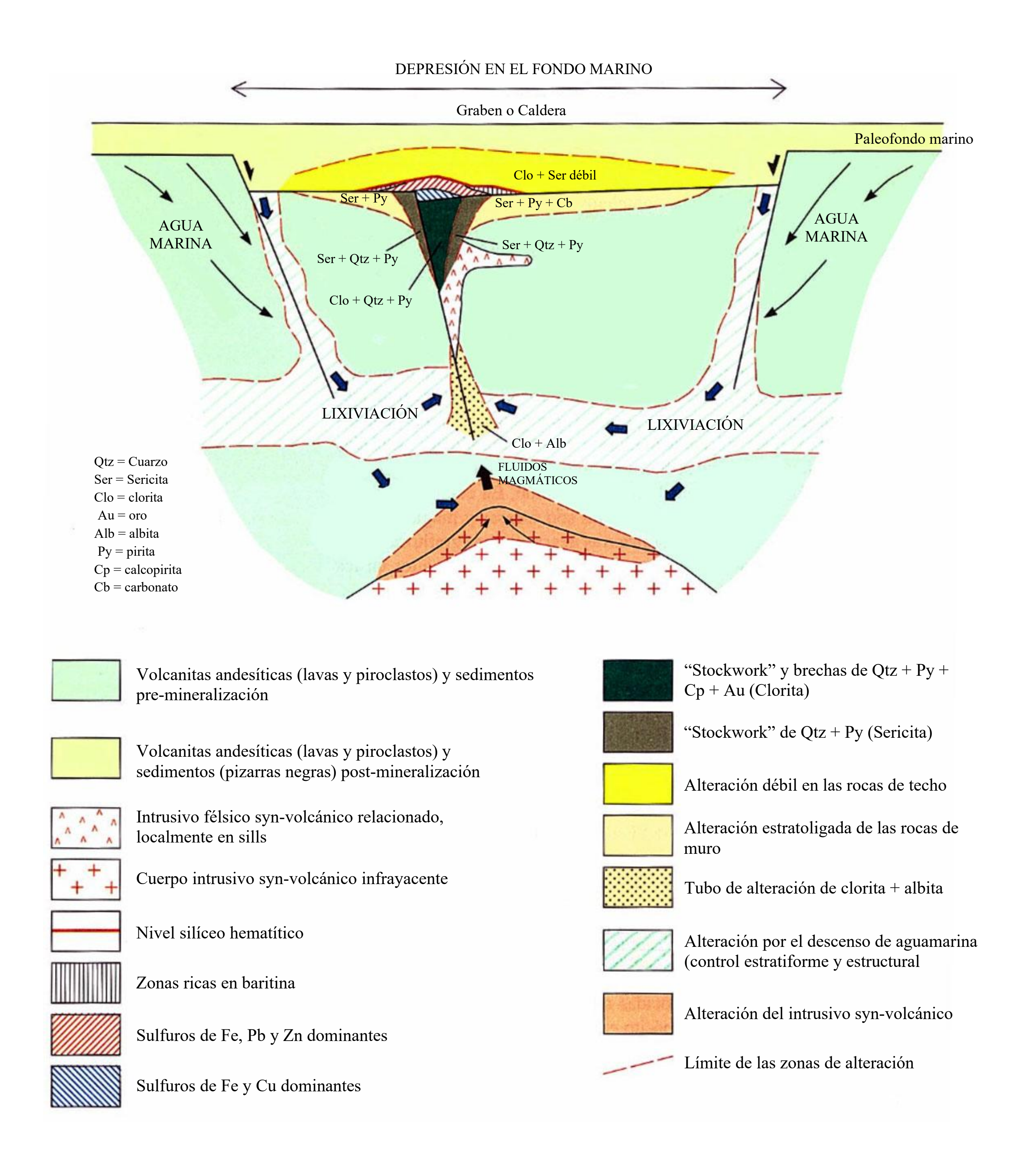


Figura 13. Modelo general de la arquitectura de un depósito de sulfuro masivo del tipo Kuroko

7.1 La Plata (Toachi)

Ha producido un total de 130000 t con 3.26% Cu, 7.14% Zn, 4.11 ppm Au y 65 ppm Ag. Las reservas conocidas alcanzan 235000 t con 4.35% Cu, 4.76% Zn, 3.87 ppm Au, 43.37 ppm Ag. El depósito exhibe muchas características típicas de depósitos VHMS del estilo Sierran Kuroko en términos de entorno geológico, tipos de roca asociada/huésped, mineralogía de mena, ganga y alteración de muro. Sin embargo, mineralización y alteración de stockwork de alimentación, zonado de metales dentro de los cuerpos de sulfuros masivos y zonas con yeso/anhidrita todas parecen estar ausentes.

El depósito está incorporado dentro de una zona de falla de dirección N-S con desarrollo de una foliación tectónica penetrativa intensa y formación de mélanges tectónicos que incluyen tajadas de sulfuro masivo. La geometría global ha sido modificada sustancialmente por atenuación y boudinage de los cuerpos de sulfuros masivos en numerosos lentes pequeños (ca. 25; hasta 15 m de espesor).

7.2 Macuchi (Esperanza & Mercedes)

Ha producido 485000 t con leyes de ca. 5% Cu, 11.6 ppm Au y 68 ppm Ag. Las reservas se estiman en 2.1 Mt con 7.5% Cu, 3.8 ppm Au y 15 ppm Ag. Ha sido citado como un depósito VHMS, pero aparte del contenido alto de sulfuros y el ambiente geológico permisivo, los rasgos son atípicos. Los cuerpos de mineral y alteración asociados están descritos como verticales y discordantes con los estratos plegados. Está localizado dentro una zona de alta deformación que puede trazarse por La Plata, pero los dos depósitos no exhiben la misma foliación penetrativa. Las texturas de mena sugieren reemplazamiento penetrativo de hialoclastitas. Ninguna de las texturas consideradas como típicas de depósitos VHMS o su modificación tectono-metamórfica están presentes. No hay stockwork de alimentación ni zona de alargamientos (*stringers*) ni niveles de jaspe hematítico (exhalita). Se ha sugerido que esto puede representar un contacto gradacional de la pared del muro arriba de la zona de "stockwork" que tiene una región de estructura brechada en cuyo caso no debería haber hialoclastitas. La característica de isótopos de azufre es comparable con la del sistema epitermal de alta sulfuración de Quimsacocha y completamente diferente a la de otros depósitos VHMS ecuatorianos.

Los depósitos VHMS conocidos dentro el Distrito Alao-Paute del Cretácico Inferior-Jurásico de la Cordillera Real están intensamente deformados y desmembrados por la Zona de Cizalla Baños. Hay ocurrencias pequeñas y subeconómicas. No obstante, su existencia indica un ambiente favorable para la formación y debería esperarse más descubrimientos de depósitos de este tipo (VHMS). La diferencia principal con los depósitos de la Cordillera Occidental es una deformación más intensa y marginalmente un grado de metamorfismo más alto.

7.3 Las Pilas

Es un cuerpo de sulfuro masivo fuertemente plegado que está mayormente compuesto de pirita recristalizada. La geometría es compleja con dos fases superpuestas de plegamiento. El halo de alteración es muy estrecho y el contenido de metales base insignificante. No obstante, a pesar de la falta de estos y muchos otros rasgos que caracterizan los depósitos VHMS está todavía considerado como un tipo Sierran Kuroko[16c].

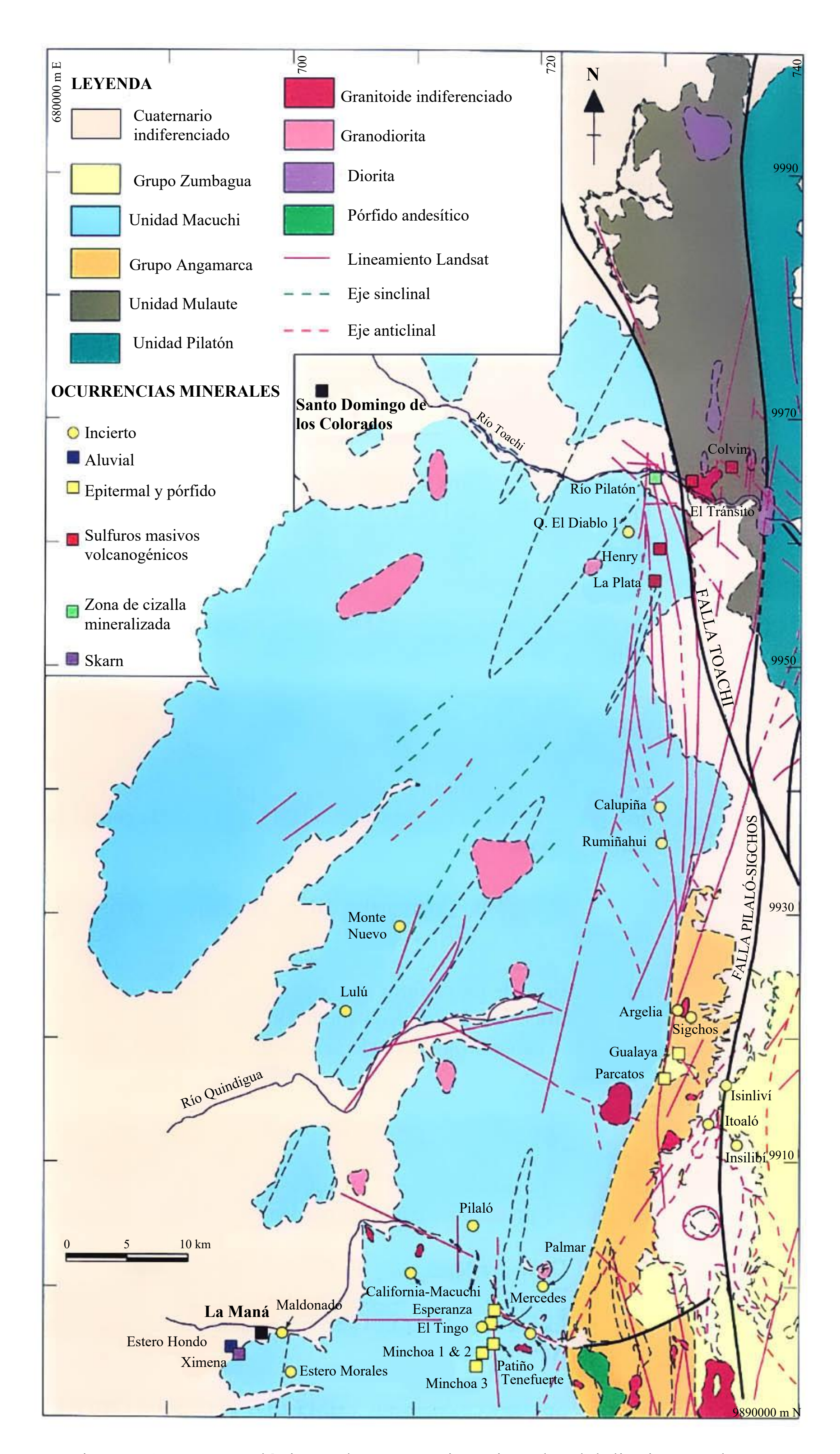


Figura 14. Mapa geológico y de ocurrencias minerales del distrito La Plata

7.4 Guarumales

Este depósito exhibe un grado de recristalización análoga a Las Pilas, pero es polimetálico con leyes significativas de oro. El cuerpo se considera un mega-budín dentro del cual se han borrado rasgos deposicionales primarios. El bandeamiento dentro de los sulfuros masivos es una foliación tectónica transpuesta antes que una estratificación. La zona de alteración relativamente ancha sugiere que pertenece a un sistema mineralizante grande dentro del cual pueden estar localizadas varias masas de sulfuros.

Los ambientes geotectónicos más favorables para depósitos VHMS del tipo Sierran Kuroko están en entornos de islas de arco y típicamente dentro de cuencas marginales o rifts asociados. Así, en adición a los arcos de Alao y Macuchi los siguientes entornos de tipo cuenca marginal pueden considerarse prospectivos:

(i) Unidades Maguazo y El Pan en el Terreno Alao.

(ii) Terreno Salado, particularmente el cinturón volcanosedimentario de Upano.

(iii) La cuenca pull-apart Lancones-Alamor del Cretácico-medio en el Terreno Amotape.

Se conocen depósitos VHMS en la Formación Ereo (ej. Tambo Grande, Totoral) dentro de la cuenca Lancones en el noroeste de Perú[44].

Hay dos controles principales de mineralización:

(i) Control sedimentario original relacionado a un intervalo litológico favorable.

(ii) Control estructural asociado con zonas de cizalla de primer orden, causado por inversión tectónica de fallas extensionales lo cual permitió la circulación de fluidos mineralizantes.

En ausencia de guías diagnósticas estratigráficas el trazado de niveles portadores de mena podría facilitarse por la identificación de características lito-geoquímicas asociadas en particular con halos de alteración concordantes. Fallas y zonas de deformación o cizalla con buzamientos muy inclinados a escala regional y distrital son fácilmente identificables mediante el uso de sensores remotos. Imágenes RADARSAT, que no están afectadas por cobertura de nubes y proveen una iluminación de bajo ángulo de incidencia, constituyen una herramienta de sensores remotos efectiva en los Andes ecuatorianos.

El ambiente geotectónico y los rasgos generales de depósitos VHMS en Colombia son consistentes con el tipo Chipre (ej. El Roble-Santa Anita)[18] los cuales se han desarrollado dentro de un marco de grabens centro-oceánicos. En el Ecuador, los terrenos oceánicos alóctonos de Piñón, Pallatanga y San Lorenzo son huéspedes potenciales para depósitos de sulfuros masivos Fe-Cu del tipo Chipre de edad Cretácica temprana a media. Se han identificado sulfuros masivos asociados con cherts jaspilíticos en la asociación ofiolítica del terreno Pallatanga.

8

PLACERES AURÍFEROS

Oro aluvial está extendido en los sistemas de drenaje al este y oeste a lo largo de toda la cordillera andina del Ecuador. Muchos depósitos han sido trabajados exhaustivamente. La producción promedio anual de oro aluvial es ca. 1 t/año. Los depósitos tienen un rango de edad desde Cretácico tardío hasta Reciente. La ocurrencia y distribución de oro en placeres está bien documentada en una revisión nacional ejecutada por la DGGM para evaluar el potencial de oro aluvial en el Ecuador[23]. La base de datos de 220 ríos auríferos incluye información sobre la geología y las características de placeres, leyes de oro y estimados de los recursos, granulometría y recuperaciones, etc. Para depósitos aluviales en las sierras subandinas y la Cordillera Real ver también Jemielita & Bolaños[14]. Pillajo[22] subdividió los indicios de placeres auríferos en cinco distritos con base en las áreas de captación (Fig. 15). Los detalles de esta subdivisión se resumen a continuación:

Tabla 10. Principales distritos de oro aluvial del Ecuador

No.	Nombre	Paleoplaceres y tipos de placeres	Fuentes primarias?	Productores mayores
1	Esmeraldas-Santiago	Fm. Cachabí (Terciario) Fluvial y marino Au-Pt	Depósitos porfídicos y epi-mesotermales relacionados con intrusiones y complejos ofiolíticos	Ríos Santiago y Bogotá
2	Daule-Quevedo	Conglomerados de la Fm. Daule Fluvial	Depósitos VHMS, epitermales, porfídicos y skarns	Estero Hondo
3	Puyango-Balao	Residual y fluvial	Campos minerales de Zaruma-Portovelo y Ponce Enríquez; Cinturón Tres Chorreras-La Playa; Complejo El Oro	Lilenes Ríos Amarillo y Calera
4	Zamora Chinchipe-Upano	Fms. Tiyuyacu y Bestión; conglomerado basal de la Fm. Hollín Fluvial, glacial, coluvial y lacustre Au ± Pt	Depósitos epitermales, VHMS, porfídicos y skarns; vetas mesotermales alojados en zonas de cizalla. Terrenos Loja, Alao y Zamora	Ríos Zamora, Yacuambí, Nanguipa, Nambija, Blanco y, área del río Shincata
5	Pastaza-Napo-Aguarico	Conglomerado basal de las Fms. Tena y Hollín, Fms. Arajuno, Mera y Tiyuyacu	Depósitos VMS, SEDEX, porfídicos, skarns y epi-mesotermales relacionados con intrusiones; vetas mesotermales	Río Napo

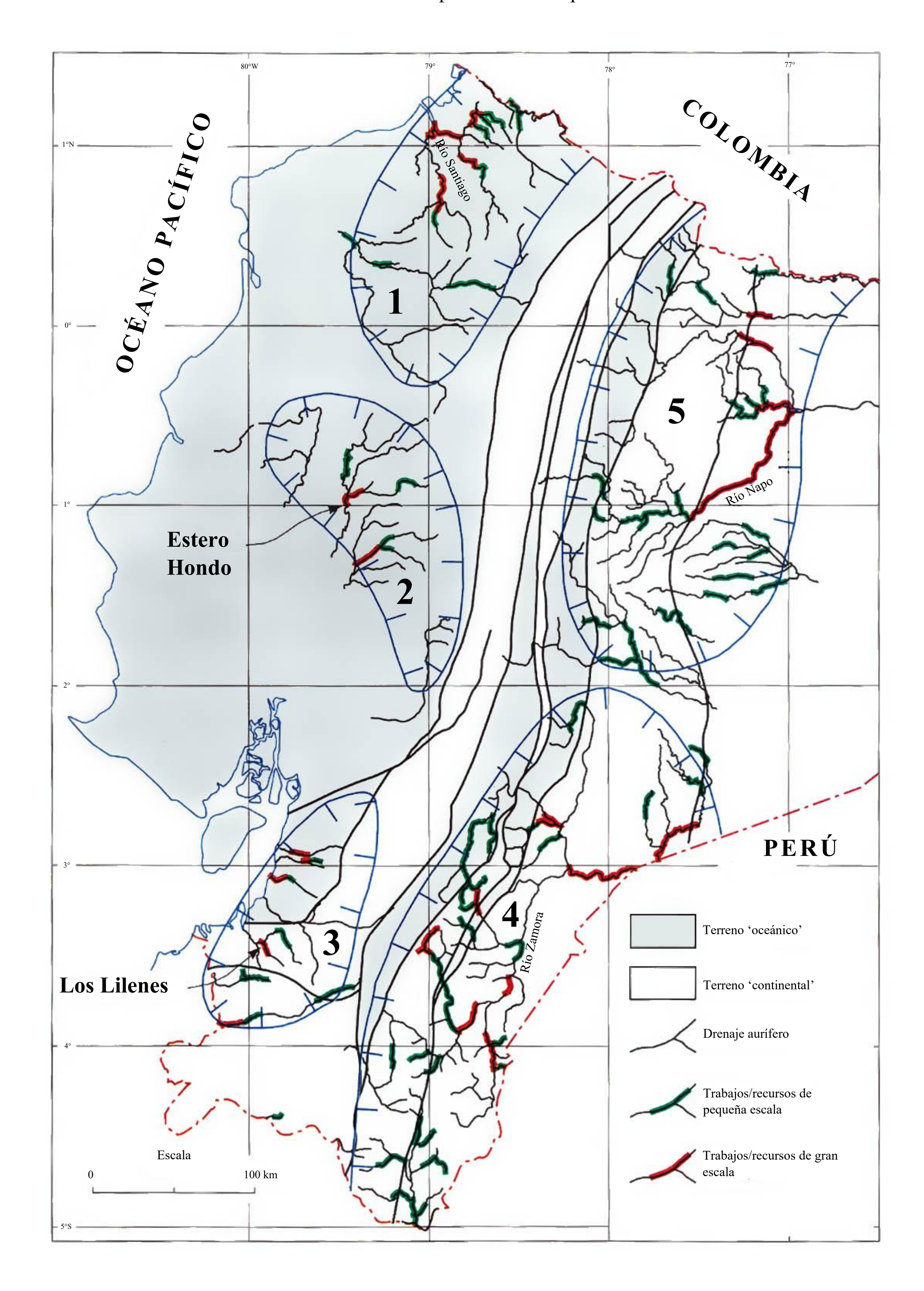


Figura 15. Mapa parcial del Ecuador mostrando el drenaje portando oro aluvial

9

METALES DE BENEFICIO

9.1 Antimonio

Se registra una producción a pequeña escala en las minas El Antimonio (con Au, Ag) y Loma Larga en el sub-distrito El Oro[1]. Los depósitos comprenden vetas de cuarzo portadoras de estibina alojadas en zonas de cizalla. Sb ocurre en vetas e impregnaciones de stockwork en los complejos dacíticos en San Gerardo y mayormente en asociación con mineralización epi-mesotermal[16d]. Comúnmente ocurre en depósitos epitermales de polimetálicos + Au ± Ag, de baja y alta sulfuración, y aparece tardíamente en la paragénesis de mineralización epi-mesotermal. Se registran sulfuros de Sb, sulfosales, y raros sulfo-antimoniuros en Beroen, Quimsacocha, Soldados, San Bartolomé, Pilzhum[16b,d] y otras ocurrencias[21]. Se estima que los recursos de Sb en el Ecuador están divididos entre los siguientes tipos de depósitos: epitermal 96%, epi-mesotermal 3%, mesotermal 1%.

9.2 Bario (barita)

Barita se produce en una veta epitermal alojada en granodiorita cerca de Bomboiza en la Provincia de Morona Santiago. La presencia de bloques sueltos de barita en el drenaje proveniente del batolito Zamora sugiere más potencial en este sector. La barita es un constituyente importante de los depósitos de sulfuros masivos de La Plata, Macuchi y en menor grado Guarumales. Otras ocurrencias incluyen Taday (Cordillera Real) y Pascuales, Mapasingue y Prosperina (Prov. Guayas)[21]. En Pascuales las brechas y vetas portadoras de barita están localizadas dentro de una zona de falla con rumbo E-W que yuxtapone basaltos y sedimentos Cretácicos.

9.3 Bismuto

El bismuto es un constituyente traza común en las menas epi-mesotermales como sulfuros, teluros y excepcionalmente como metal nativo. Es ubicuo en los skarns auríferos (tanto oxidados como reducidos), en algunos sistemas de vetas (ej. Bella Rica) y en chimeneas de brecha ricas en turmalina (ej. Peggy, La Tigrera, etc.).

9.4 Cobre

En el pasado, la producción de cobre ha sido por breves periodos principalmente de los depósitos de sulfuros masivos de La Plata y Macuchi (Tabla 7, Cap. 8). Sin embargo, depósitos VHMS solo representan el 6-8% del recurso total de Cu. Mineralización hidrotermal de Cu relacionada con intrusiones se divide entre los siguientes tipos de depósitos: porfídico ca. 85%, epi-mesotermal (skarns de Cu y sistemas de brechas y vetas polimetálicas) ca. 6% y epitermal HS <l % y constituye el repositorio principal en los Andes ecuatorianos. Los sub-cinturones de Cu porfídico occidentales a centrales, del Mioceno al Plioceno temprano, y los orientales del Jurásico al Cretácico medio (Fig. 8) tienen el mayor potencial conocido. Los depósitos auríferos portadores de cobre como el de Gaby (0.12% Cu) y el sistema de vetas Zaruma-Portovelo (4-5% Cu) también representan reservas substanciales de Cu.

9.5 Oro

Históricamente el oro ha sido consistentemente el metal más importante explotado en el Ecuador (Tabla 7; Cap. 9). La producción durante las últimas dos décadas proviene mayormente de placeres y de la explotación en pequeña escala de las porciones de alta ley de los depósitos alojados en vetas, brechas y skarns. El oro es ubicuo a través de los Andes ecuatorianos y dentro del drenaje oriental y occidental de la Sierra. Los recursos de oro para los diferentes tipos de depósitos se dividen en los siguientes: pórfidos ca.30%, epi-mesotermal (incluyendo skarns) 33%, epitermal 20%, mesotermales alojados en zonas de cizalla más los placeres derivados 15% y VHMS ca. 2%.

9.6 Plomo y Zinc

La producción en el pasado ha sido de los depósitos de sulfuros masivos de Macuchi y La Plata y como subproducto de la minería Au-Ag en Portovelo y San Bartolomé[16b,c,d]. Pb y Zn son asociados comunes de Cu en todos los tipos de depósitos salvo algunos sistemas epitermales LS y pórfido-skarn de Cu. Las ocurrencias más significativas a más de las ya mencionadas incluyen sistemas de vetas y brechas epi-mesotermales (ej. Ayllón-Santa Bárbara, Bella Rica, Condorazo, Peggy y Tres Chorreras), epitermales LS ricos en sulfuros relacionados con intrusivos (ej. Chinapintza-Biche, Gualleturo, Molleturo, Sigsig y Uritohauser), otros depósitos VHMS (ej. Guarumales), skarns de metales base (ej. campos de skarn septentrionales) y algunos depósitos epitermales HS (ej. Angas, San Femando-Quimsacocha). Muchos depósitos exhiben una limitada separación espacial entre Cu y Pb-Zn (ej. Bella Rica) y entre Pb y Zn (ej. Chinapintza) normalmente como zonas externas a las intrusiones félsicas y sistemas de pórfido cuprífero. Los recursos de Pb y Zn en el Ecuador están divididos entre los siguientes tipos de depósitos, VHMS: Pb 9%, Zn 21 %; epitermal: Pb 77%, Zn 47% y epi-mesotermal relacionado con intrusiones Pb 14%, Zn 32%.

9.7 Mercurio

La producción histórica registrada durante la época colonial fue del Cerro Huaizum cerca de Azogues[15]. Hg típicamente ocurre en sistemas epitermales LS asociados con As, Sb y Tl donde se preserva la paleo-superficie (precipitados silíceos y zonas de alteración calentados por vapor arriba de la paleo-mesa de agua). Por lo tanto, las áreas más favorables para la mineralización de Hg yacen en las rocas del Cenozoico dentro del graben central y particularmente en asociación con los depósitos polimetálico-Ag ricos en sulfuros del área de Chunchi-Gualleturo (sub-distrito Alausí-Pucará del terreno Chaucha) y el cinturón de Ag Cañar-Azuay (Terreno Alao). Anomalías conspicuas de Hg en sedimentos fluviales se han registrado en el área de la intrusión de Shagli, la caldera Jubones y en asociación con la Formación Quimsacocha en la mitad meridional del sub-distrito Alausí-Pucará[16b,31,32]. También se han registrado valores significativos de Hg en los depósitos VHMS de La Plata y Guarumales.

9.8 Molibdeno

Mo invariablemente acompaña a Cu ± Au en depósitos porfídicos calcoalcalinos y epi-mesotermales relacionados con intrusiones proximales. Los sistemas de pórfido cuprífero de tipo plutónico, en particular, llevan contenidos considerables de Mo (ej. Junín ca. 0.04% Mo; Chaucha ca. 0.03% Mo) mientras que los tipos volcánicos generalmente contienen <0.01% Mo. Los pórfidos y la mineralización relacionada con intrusiones del Mesozoico al Cenozoico medio (ej. los batolitos de Zamora, Tangula, Santiago y Balzapamba-Telimbela) son particularmente prospectivos. Las brechas mesotermales de turmalina del cinturón Tres Chorreras-La Playa localmente llevan contenidos de Mo en el rango 0.01-0.05%. Se estima que los pórfidos cuentan con el 97-98% y los depósitos epi-mesotermales con el 2-3% del recurso nacional de Mo.

9.9 Platinoides

Metales del grupo platino (MGP) se derivan únicamente de fuentes máficas-ultramáficas. Así se alojan dentro de o asociados con los terrenos oceánicos del Ecuador incluyendo mesetas oceánicas, cuencas marginales y arcos de isla primitivos. Ocurrencias de MGP conocidas están en los placeres auríferos de origen máfico-ultramáfico u ofiolítico. Ocurrencias aluviales de Pt-Pd-Au se observan en los ríos Pindilig-Cochicoral los cuales drenan a través del complejo máfico-ultramáfico Tampanchi de tipo Alaskan dentro del terreno Alao. Los depósitos de placeres MGP ocurren dentro del distrito Esmeraldas-Santiago (Cap. 9) los cuales parecen derivarse de volcánicos basálticos de alto Mg de la Formación Naranjal (Terreno San Lorenzo). Se piensa que los depósitos tienen la misma génesis que los del Departamento Chocó en Colombia. Indicios esporádicos de contenidos significativos de Pt-Pd se han reportado en depósitos epitermales LS con polimetálicos-Au-Ag alojados en volcánicos máficos (ej. Molleturo).

9.10 Plata

La principal contribución a la producción histórica de plata proviene de la explotación de los depósitos epitermales LS polimetálico-plata en el cinturón de plata Azuay-Cañar de la Cordillera Real (ej. San Bartolomé, Pilzhum, Condorazo), el campo mineral de Pachicutza (ej. Chinapintza-Biche), depósitos epi-mesotermales polimetálicos-Au-Ag como Zaruma-Portovelo y Bella Rica, depósitos VHMS del distrito La Plata y como subproducto de la extracción de oro de otras fuentes.

La producción actual por año (ca.7 t) está muy vinculada con la producción de oro. Los recursos de plata en el Ecuador se distribuyen entre tipos de depósitos de la siguiente manera: pórfidos Cu + Au ± Mo 20%, sistemas epi-mesotermales relacionados con intrusiones 12%, depósitos epitermales 65%, sulfuros masivos 2-3% y depósitos alojados en zonas de cizalla <l %. Las secuencias volcánicas andesita-riolita e intrusiones porfíricas del tipo volcánico de edad Cenozoico tardío en los terrenos Chaucha y Alao son los huéspedes más favorables para mineralización hidrotermal rica en Ag. Los indicios epitermales significativos, en adición a los ya mencionados, incluyen Chunchi-Gualleturo (polimetálico rico en sulfuros), Beroen (tipo bonanza Au-Ag pobre en sulfuros), Guarumales (VHMS de estilo Sierran Kuroko), Fierro Urcu (sistema epitermal HS/pórfido Cu-Au de tipo volcánico)[16b,c,d].

10

TÉCNICAS DE EXPLORACIÓN MINERAL

Guías para el uso de las técnicas más aplicables de exploración en depósitos metalíferos epitermales, porfíricos y de sulfuros masivos se resumen en las Tablas 11 a 14. El rango de métodos efectivos de exploración es limitado en terrenos de alto relieve con densa vegetación como los Andes ecuatorianos y su importancia relativa varía en las diferentes etapas de exploración. Además, es necesario ajustar, a escala de proyecto o prospecto, las estrategias de exploración y técnicas en los diferentes ambientes fisiográficos/hidromórficos para optimizar la respuesta y mantener rentable a un depósito, ej. páramo alto vs. cordilleras subandinas. Por tanto, la aplicabilidad de una u otra técnica debe determinarse caso por caso.

10.1 Análisis estructural

Se recomienda realizar análisis estructural a toda escala, pero principalmente en las etapas de proyecto y prospecto de exploración para la selección de objetivos. Controles estructurales, directos o indirectos, son de importancia fundamental en la localización de depósitos minerales en los Andes ecuatorianos. Hay una relación espacial y genética demostrable de muchos yacimientos (VHMS, epitermales y relacionados con intrusiones) con las fallas/zonas de cizalla de rumbo andino (N-NNE) y abanicos imbricados, dúplexes y lazadas sigmoideas relacionadas de segundo orden. Estructuras de dirección NE a ENE de segundo orden, que son dilatacionales bajo un régimen dextral transpresivo, se consideran las más favorables para magmatismo y mineralización hidrotermal mientras la localización específica está comúnmente relacionada con intersecciones a estructuras transversas de dirección WNW a NNW y en muchos casos la mineralización está alojada dentro de ellos. Sin embargo, los patrones de esfuerzos y orientaciones preferidas pueden variar entre diferentes segmentos, ej. el complejo de basamento metamórfico El Oro (Sur de 2°30’S) dentro de la zona de transición de la Deflexión Huancabamba está dominado por estructuras de rumbo E-W.

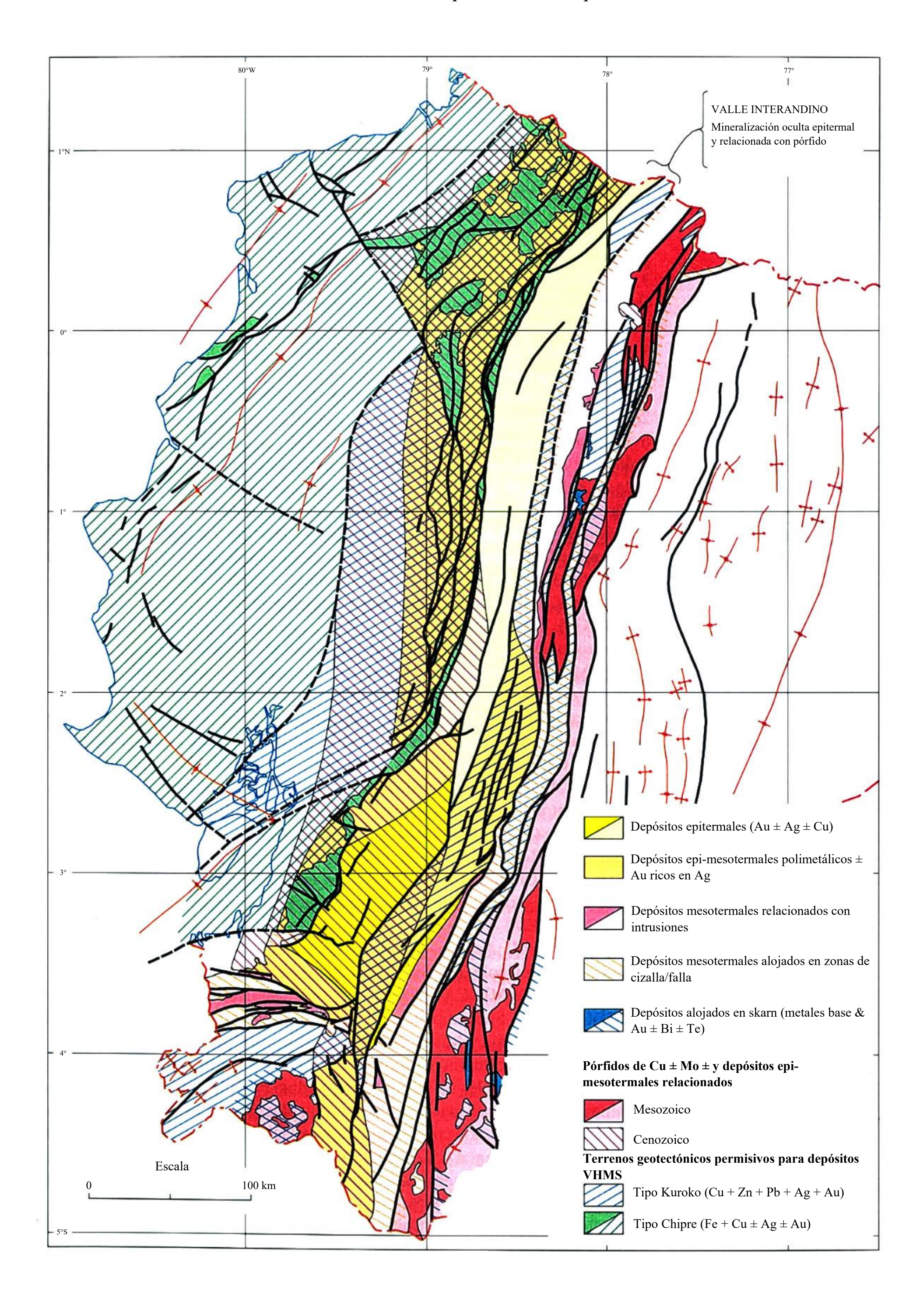


Figura 16. Potencial mineral metalífero del Ecuador

Tabla 11. Guías de exploración geológica y geofísica para depósitos porfídicos Cu ± Mo ± Au en los Andes ecuatorianos

Metodología	Respuesta
Entorno geológico	Se encuentra un rango de tipos morfológicos en todos los terrenos volcano-plutónicos (arcos de islas oceánicos y de margen continental) de la Cordillera a elevaciones < 3500 msnm (tipos plutónicos < 2500 msnm). Vinculado con magmatismo relacionado con subducción (ej. sub-cinturón oriental), aeración oblicua (ej. sub-cinturón occidental) y tectonismo extensional/transtensional (suturas reactivadas). Relación espacial con complejos intrusivos batolíticos y plutónicos grandes. Rasgos diversos (ej. tipos intrusivos, geometrías, brechas, zonado y mineralogía de mena y alteración, etc.). En general enriquecimiento supergénico es pobremente desarrollado
Análisis estructural	Los depósitos yacen principalmente a lo largo o cerca de fallas extensionales de segundo orden, las cuales se dislocan de o enlazan a fallas/suturas andinas regionales. Éstas son principalmente estructuras de dirección NE a ENE (sub-cinturones occidental y central) pero de dirección N-S dentro del sub-cinturón oriental y en el área de la Deflexión Huancabamba. Se pueden localizar en las intersecciones con otras fallas/lineamientos WNW & NNW); fallas de dirección NE también son importantes en el Distrito Zamora
Mapeo de alteración	Patrones de alteración aumentan el tamaño del objetivo y proveen vectores de exploración y ayudan en la evaluación del nivel de erosión del sistema. Algunas zonas son pobremente definidas, oscurecidas o complicadas debido a sobreimpresión hipogénica multifásica y procesos supergénicos. Sin embargo, el uso del PIMA respaldado por observaciones macro- y microscópicas pueden ayudar con el mapeo. Variaciones en sistemas zonados se relacionan mayormente al grado de penetración y/o preservación de alteraciones fílicas-argílicas tardías las cuales son más controladas estructuralmente
Controles de mena	Contactos ígneos tanto internos entre fases intrusivas como externos con las rocas encajantes; brechas hidrotermales y ortomagmáticas; zonas de fracturación intensa y juegos cruzados de fallas/fracturas. Paragénesis de mena son mayormente variantes del esquema El Salvador. Comúnmente, la zonación de mena a la escala del prospecto (ej. razones Cu:Fe) es aparente, pero las clásicas conchas anulares de mena son raras a ausentes
Magnetometría	Zonas de mena pueden estar asociadas a rocas con abundante magnetita y están indicadas por levantamientos magnéticos (ej. anomalía magnética anular en Chaucha). Anomalías magnéticas pueden ocurrir en los contactos externos con rocas encajantes. Rocas con alteración hidrotermal intensa, especialmente asociaciones fílicas/argílicas, producen bajos magnéticos
Métodos eléctricos	Halos piríticos que rodean centros cupríferos responden bien a levantamientos IP, pero en sistemas pobres en sulfuros solamente la zona central de cobre provee una respuesta significativa (ej. Cumay)

Tabla 12. Guías de exploración geológica y geofísica para depósitos epitermales en los Andes ecuatorianos

Metodología	Respuesta
Entorno geológico	Los depósitos yacen en todos los terrenos de arcos volcano-plutónicos en un rango de elevación (generalmente >1200 msnm) y están asociados con fallas andinas regionales, grabens, calderas silícicas, estratovolcanes andesíticos, complejos de domos de flujo y diatrema-maar. Algunos pueden suprayacer sistemas porfídicos mineralizados (ej. Beroen, Fierro Urcu). También pueden ser prospectivos marcos de colapso pre-caldera (ej. Quimsacocha). Los depósitos posdatan el evento Peltetec y son mayormente de edad Eoceno a Mioceno
Rasgos geológicos	Depósitos alojados en volcánicos calco-alcalinos intermedios a silícicos y sedimentos relacionados como vetas, “stockworks” (LS), diseminaciones, reemplazamientos masivos (HS) y breccias (LS & HS). Textura de veta, mineralogía y características de alteración pueden indicar naturaleza química del sistema (HS o LS), nivel de erosión, paleo-isotermas, controles de mena y vectores de exploración
Análisis estructural	Localizado en cuencas “pull-apart”, graben y semi-graben extensionales a transtensionales de dirección andina (ej. Gañarín, Collay-Shincata) a lo largo de suturas reactivadas de los límites de terrenos. Comúnmente centralizado en dúplexes extensionales (empujes dilatacionales), inflexiones agudas e intersecciones de fallas, y estructuras syn-volcánicas (fallas de anillo de caldera y juegos de fracturas radiales). Configuración geométrica determinada por la permeabilidad de las rocas encajantes. Intersecciones de fallas con contactos geológicos y discordancias entre diferentes litologías son sitios favorables
Mapeo de alteración	Halos de alteración pueden aumentar el tamaño del objetivo y proveen vectores de exploración. Identificación de asociaciones de alteración (particularmente minerales de arcilla) se facilita por el uso del PIMA que permite distinguir entre el estilo de depósito (LS o HS) y entre minerales de origen hipogénico y supergénico tanto como evaluar paleo-temperaturas y el nivel de destecho del sistema hidrotermal extinto. Sensores remotos son generalmente inefectivos debido a la cobertura vegetal. Capas de sílica y zonas silicificadas pueden producir rasgos positivos mientras huellas de deslizamientos están a menudo localizadas en áreas de alteración argílica
Magnetometría	Datos aeromagnéticos de escala regional a distrital podrían ayudar en la identificación de rasgos estructurales favorables y asistir en el mapeo geológico. También es capaz de identificar zonas de alteración con una susceptibilidad magnética relativamente baja i.e. argílica, argílica avanzada y la mayoría de zonas silicificadas
Electro-magnetometría	No probado, pero podría detectar zonas de alteración ricas en arcilla conductiva, controladas estructuralmente, de baja cobertura, sin alteración
Métodos eléctricos	Polarización inducida (IP) y levantamientos de resistividad a escala de proyecto y prospecto puede asistir en la definición de sistemas de brecha y veta, especialmente donde hay envolturas de silicificación o alteración argílica. Respuesta IP depende del estilo de mineralización. Apropiado para sulfuros diseminados, pero podría detectar anomalías no relacionadas con mena
Gravimetría	Puede ser útil para la detección de topografía enterrada e intrusiones ocultas que podría localizar mineralización epitermal

Tabla 13. Guías de exploración geológica y geofísica para depósitos VHMS en los Andes ecuatorianos

Metodología	Respuesta
Entorno geológico	Dada la naturaleza estrato-conforme de los depósitos VHMS, la guía más obvia a escala local o de proyecto es identificar y trazar unidades estratigráficas favorables. Depósitos VHMS típicamente ocurren en grupos (ca. 5) dentro un radio de 10 km y por tanto la existencia de una masa indica el potencial para el descubrimiento de otros cuerpos próximos. Atenuación y desmembramiento tectónico podría borrar, oscurecer o modificar rasgos diagnósticos i.e. presencia de pizarras negras, halos de alteración, zonación mineral, “stockworks” alimentadores, etc.
Análisis estructural	En las dos cordilleras hay correspondencia con fallas andinas regionales a distritales de dirección N-S a NNE lo que puede ser identificado con sensores remotos (e.j. imágenes de satélite). Fallas extensionales tempranas relacionadas con génesis de depósitos de sulfuros masivos se convirtieron en el foco para tectónica de inversión transpresiva durante la posterior acreción del terreno. Horizontes estratigráficos favorables podrían incorporarse dentro de zonas de alto esfuerzo
Mapeo de alteración	Patrones de alteración pueden aumentar el tamaño del objetivo en un orden de magnitud y proveen vectores de exploración. Alteración estratoligada de cuarzo + sericita ± clorita + pirita asociada con el muro de los lentes de sulfuro masivo puede constituir una guía excelente ej. La Plata, pero en la mayoría de ejemplos ecuatorianos está pobremente desarrollado o tectónicamente separado. “Stockworks” alimentadores debajo los lentes MS que pueden estar zonados (centro rico en clorita y halo exterior rico en sericita) no han sido reconocidos
Magnetometría	Magnetometría aerotransportada a escala regional a distrital podría ayudar con la identificación de rasgos estructurales favorables y con el mapeo geológico. Capas de magnetita (ej. Las Pilas) y zonas/cuerpos con pirrotina masiva (ej. Tenguelillo) también podrían ser detectados en levantamientos magnéticos. Sin embargo, en la mayoría de ejemplos ecuatorianos faltan estos minerales magnéticos
Electro-magnetometría	Lentes de sulfuros masivos tienen conductividad moderada y dan una huella EM razonable. También se detectan zonas, de baja resistividad relacionadas a algunas zonas de alteración estructuralmente controladas. Anomalías EM no pueden correlacionarse bien con los sulfuros masivos. La falta de pirrotina puede impedir la respuesta EM
Métodos eléctricos	La respuesta de polarización inducida (IP) es dependiente del estilo de mineralización. Es apropiada para la mineralización diseminada, pero puede producir anomalías no relacionadas con mineralización de mena (ej. esquistos grafíticos y cloríticos)
Gravimetría	El mejor método para detección de cuerpos de sulfuros masivos, pero debido al fuerte relieve de los Andes ecuatorianos es difícil de emplear

El uso de sensores remotos, particularmente **imágenes de satélite RADARSAT** es recomendado para la identificación y delineación de estructuras de primer y segundo orden a escala regional y distrital. **Imágenes aeromagnéticas** deben asistir en el trazado de lineamientos, particularmente para aquellos ocultos por cobertura del Terciario tardío al Cuaternario. La **fotografía aérea de alta resolución** puede dilucidar estructuras mineralizadas de orden más alto que la escala kilométrica (ej. Fig. 11a). Las observaciones de campo deben dirigirse hacia la determinación de la geometría de fallas en tres dimensiones y los vectores de movimiento para la identificación y predicción de sitios dilatacionales favorables, donde podría localizarse preferencialmente la mineralización. La **Tecnología de Mapeo de Esfuerzos** da un entendimiento tanto en la evolución tectónica y los cambios en el régimen de campo de estrés lejano como impone limitaciones en la edad de la mineralización, también se considera una herramienta poderosa para la identificación de áreas de bajo-medio esfuerzo (y gradientes altos de esfuerzos) que son favorables para la mineralización. La última técnica es particularmente aplicable en terrenos relativamente inaccesibles donde faltan detalles geológicos.

10.2 Mapeo de alteración

Mapeo de alteración es parte de la rutina de exploración a la escala de proyecto y prospecto para la identificación y delineación de los sistemas paleo-hidrotermales, interpretación del tipo de depósito y nivel aproximado de erosión. La detección de subzonas dentro de los estilos de alteración generalmente reconocidos podría mejorar la utilidad de este método. En sistemas epitermales, la transición en las asociaciones de minerales de alteración desde esmectita a través de esmectita-illita hacia illita en los depósitos LS y desde caolinita-alunita a sericita-pirofilita en los depósitos HS es indicativa de incremento de temperatura y puede asistir en la determinación del nivel de erosión. En sistemas porfídicos la distinción entre, por ejemplo, cloritas intermedias y magnesianas y entre los miembros finales moscovita y paragonita en asociaciones de alteración sericítica puede ser significativa con respeto a las leyes de mena[16d].

Un **Analizador de Minerales Portátil de Infrarrojos** (instrumento PIMA por sus siglas inglesas) es un método rápido, no costoso, in situ, para la identificación de minerales diagnósticos de alteración de grano muy fino, particularmente minerales de arcilla. Permite el mapeo de sub-zonas en base a los cambios en química mineral/cristalinidad y distinción entre productos de alteración supergénicos e hipogénicos. Además, el formato digital de los datos espectrales permite fácil integración y comparación con otros juegos de datos. El instrumento PIMA es una ayuda poderosa para los levantamientos a escala de proyecto y prospecto de zonas de alteración hipogénica y para la determinación de vectores en la selección de objetivos.

10.3 Geoquímica de drenaje

Los **sedimentos fluviales** son efectivos para la detección a escala regional/distrital/proyecto de depósitos expuestos (tanto tipo VHMS y pórfidos como sistemas mesotermales a epitermales ricos en sulfuros relacionados con pórfidos/intrusiones. Sistemas epitermales LS pobres en sulfuros generalmente dan una respuesta limitada o sutil. La detección de anomalías puede mejorarse mediante normalización lito-geoquímica y análisis estadístico relacionado de los datos para los grupos y asociaciones litológicos. La **caracterización de oro aluvial** durante reconocimiento a escala regional y distrital provee indicaciones de los tipos de depósitos presentes y su importancia relativa en las cuencas de drenaje (Tabla 14).

Tabla 14. Características de oro aluvial de diferentes tipos de fuentes

Fuente	Finura del oro	Tipos de inclusiones	Comentarios
Sistemas epitermales de baja sulfuración (LS)	40-55%Ag (10-90pc)	Sulfosales Ag (± py)	Fuente <5% sulfuros
	>40% Ag (90 pct)	Sulfosales Sb/Ag asp, spl, gn (± py ± pirr ± mrc)	Fuente >10% sulfuros
Sistemas epitermales de alta sulfuración (HS)	>35% Ag (90 pct)	Sulfosales Cu-As/Sb py, gn, spl (± cp ± bn ± arg ± ba)	Presencia de sulfosales de Cu-As (enargita-luzonita) podría indicar una fuente epitermal HS
Sistemas mesotermales en zonas de cizalla	<20% Ag (90 pct) Cu-Zn ± Hg Pt-Bi-As ± Se	pirr, cp ± py, asp (± spl ± gn ± stb) Sulfosales (& Sulfoantimoniuros) Cu/Pb/Sb; Teluros Bi/Pb/Hg	Fuente <15% sulfuros Au puede ser indistinguible de las fuentes de skarn auríferas
Sistemas epi-mesotermales polimetálicos	10-35% Ag (10-90 pc) Cu-Pb-Hg Pt-Bi-As ± Se	gn, asp ± pirr, cp (± spl ± mrc) Sulfosales Cu/As/Sb Teluros Bi/Pb/Ag (± mo ± sch ± bi ± cass ± stn)	Fuente >10% sulfuros Au puede ser indistinguible de los sistemas porfídicos de Cu-Au-Mo
Depósitos de oro alojados en skarn	<15% Ag <10% Ag (90 pct) 1 = Cu-Hg ± Zn ± Pt Hg ± Pt ± Bi ± As ± Se 2 = Cu + Hg ± As ± Te	gnt + cpx/py, pirr, cp, gn (± spl) 1 = Teluros Bi/Ag/Ag-Au/Hg (Sulfuros Ag-Bi/Cu-Pb?) 2 = Teluros Bi/Bi-Cu/Bi-Sb/ Cu-Ag/Ag-Au/Pb/Pb-Bi-Au, Bi Au-Sb ± Sb sulfosales	Se distingue por bajo contenido de Ag y presencia de minerales calcosilicatados y Bi-Te 1 = oxidado Bi-Ag-Hg ± Se 2 = reducido Bi-Cu-Pb-Ag-Sb
Sistemas porfídicos de Cu ± Mo ± Au	12-35% Ag (10-90 pc) Hg + Cu ± As	gn, py, pirr ± cp Teluros Bi/Pb/Ag	Puede tener inclusiones de minerales calcosilicatados de skarns asociados
Complejos ofiolíticos/máficos-ultramáficos	<10% Ag <7% Ag (90 pct) (Cu, Pt, Rh, Ir, Pd)	Aleaciones de Pt-Fe/Pt-Pd/Pt-Ir ± Os-Ir Sulfuros Rh-Pt-Ni-Cu Sulfuros Ru-Os	Au asociado con Pt (+ aleaciones: Fe/Ir/Rh/Cu/Ni ± Pd ± Au), chm ± mgt. Oro distinguido por su finura alta y presencia de MGP

Minerales en paréntesis han sido identificados en la fuente, pero no reconocidos en el oro aluvial; pc = percentil, pct = porcentaje

Tabla 15. Guías de exploración geológica y geofísica para depósitos metalíferos en los Andes ecuatorianos

Tipo de muestra	Depósitos porfídicos y sistemas epi-mesotermales relacionados con intrusiones	Depósitos epitermales	Depósitos de sulfuros masivos alojados en volcanitas (VHMS)
Sedimentos fluviales	Muy efectivo a una densidad moderada de muestreo en levantamientos regionales para detección de mineralización expuesta porfídica y epi-mesotermal relacionada. Elementos indicadores: Cu, Mo, Au, Ag, Pb, Zn, As, Sb, Bi, Cd. Dispersión de Cu detectada hasta 5-10 km de la fuente.	Detección limitada a densidad de muestreo moderada por objetivos más pequeños y anomalías de bajo contraste (especialmente para depósitos LS y en el páramo alto). Normalización contra la geología de captación puede asistir en identificación de mineralización. Elementos indicadores incluyen Au, Ag, As, Sb, Hg, Tl, Zn en LS más Cu, Pb en depósitos HS.	Muy efectivo a una densidad moderada de muestreo en levantamientos de escala regional y proyecto para detección de cuerpos expuestos o de poca profundidad. Elementos indicadores Cu, Mo, Au, Ag, Pb, Zn, As, Sb, Bi, Cd. Dispersión de Cu detectada hasta 5-10 km de la fuente.
Oro aluvial	Útil en las etapas iniciales de reconocimiento a escala regional y distrital para distinguir fuentes de oro e identificar sistemas relacionados con pórfidos. Oro aluvial derivado de depósitos porfídicos, mesotermales de veta/brecha y skarns tienen huellas distintas en términos de contenido de Ag y tipos de micro-inclusiones.	Útil en las etapas iniciales de reconocimiento a escala regional y distrital para distinguir las fuentes del oro. Oro aluvial derivado de depósitos epitermales proximales se caracteriza por altos contenidos de Ag y presencia de teluros y sulfosales de Ag, Pb y Sb.	Generalmente no es aplicable debido a los contenidos bajos de oro y la pobre colección de oro en granos. Firma comparable a la de los depósitos epitermales HS.
Aguas fluviales	Las anomalías son pronunciadas (más intensas que en sedimentos fluviales) y proveen una buena reflexión de la fuente. Limitados efectos están impuestos por variaciones temporales de las descargas. Elementos indicadores Cu, Mo, Co, Ni, Zn, Ti, Mn, Rb, Sr, (Pb, Bi, Tierras raras). Dispersión de Cu detectada hasta 5-10 km de la fuente.	Interpretación afectada por niveles extremamente bajos de muchos elementos (a menudo bajo el límite de detección) y fondo heterogéneo. Podría ser efectivo para depósitos HS y/o donde hay un bajo nivel de oxidación. Variaciones temporales en la descarga no oscurecen las anomalías. Elementos indicadores (HS) incluyen Cu, As, Au, Ni.	No probado, pero hay significativa dispersión de metales base por medio de drenaje ácido desde depósitos de sulfuros masivos en proceso de oxidación.
Suelos	Métodos convencionales a escala de proyecto o prospecto proveen una reflexión precisa de fuentes someras donde éstas no han sido transportadas ni oscurecidas por cobertura más joven. Elementos indicadores Cu, Mo, Au, Ag, Pb, Zn, As. Entre las técnicas de extracción parcial no hay ventaja en el uso de tipos más agresivos (ej. HL) y especialmente con Au. EL tiene una respuesta comparable a la de métodos convencionales sobre sistemas porfídicos expuestos (anomalías apicales Cu, Mo, Au y de oxidación (halógenos), Rb, Cs, Tl). Potencial para la detección y mejor delineación de pórfidos ocultos.	Métodos convencionales a escala de proyecto o prospecto dan una respuesta mixta con anomalías localizadas dependientes del tipo de suelo y condiciones hidromórficas. Elementos indicadores (HS) Ag, Cu, As, Bi, Sb, Pb (Mo) – comúnmente solo los elementos volátiles. Entre técnicas de extracción parcial el HL da una respuesta clara de mineralización HS para As, Sb, Ag y Se. Anomalías mejoradas por normalización contra Mn. EL es superior a las otras técnicas para depósitos HS con razones altas de pico a fondo (Au, Cu, Sr, Pb, As, Zr, Cl, Br, I). Anomalías de oxidación (halógenos) detectadas sobre depósitos ocultos pero influidos por estructuras sub-superficiales.	Métodos convencionales a escala de proyecto o prospecto proveen una precisa reflexión de las fuentes donde no han sido afectados por movimiento en masa ni oscurecido por cobertura más joven. Elementos indicadores Cu, Pb, Zn, As, Au y Ag. Técnicas de extracción parcial comparables a métodos convencionales. EL responde mejor en horizontes superficiales cercanos que en profundidades de 1 m o más dentro de saprolito transportado y está tipificado por anomalías apicales pronunciadas.

La **hidrogeoquímica** ofrece ventajas potenciales en términos de simplicidad, tiempo y costo. Es particularmente apropiada para los Andes ecuatorianos donde hay una densidad relativamente alta de drenajes perennes. Estudios piloto muestran que las anomalías son más intensas, pero tienen un más bajo grado de dispersión en comparación con sedimentos fluviales. La magnitud relativa de las anomalías prácticamente no es afectada por las variaciones temporales de las descargas. Sin embargo, los cuerpos minerales pobres en sulfuros pueden ser difíciles de detectar debido a las heterogeneidades de fondo y a tiempos residenciales cortos. Se puede llevar a cabo un muestreo de aguas concurrente con los programas geoquímicos de sedimentos fluviales y proveer datos esenciales para evaluaciones del impacto ambiental.

10.4 Geoquímica de suelos

La geoquímica convencional de suelos es efectiva para la delineación a escala de prospecto de áreas mineralizadas y su zonación metalogénica en regiones donde la mineralización no está profundamente oculta y las rocas de cobertura post-mineral están ausentes. La deposición glacial/fluvio-glacial y el desarrollo de turba en áreas como el páramo alto oculta efectivamente las características de la roca de lecho y puede producir anomalías engañosas debido a absorción de complejos organo-metálicos. Donde la sobrecarga no es demasiado espesa, se puede superar este problema de muestreo mediante el uso de perforadoras livianas (Cobra, Wacker o Minuteman) o taladros de suelo a mano. Las áreas de alto relieve y/o disección profunda se complican con los depósitos coluviales y los deslizamientos que pueden cubrir efectivamente las anomalías residuales. La estrategia recomendada en estas áreas es llevar a cabo un muestreo inicial de crestas y espolones.

La **extracción parcial por lixiviación enzimática (EL)** da una respuesta comparable a, o mejor que, geoquímica convencional de suelos y provee técnicas de extracción parcial más agresivas para los sistemas porfídico y epitermal HS. Esta técnica generalmente da mejores razones de pico:fondo y anomalías de oxidación adicionales que amplían el área objetivo. Su ventaja principal es el potencial para la detección de sistemas hidrotermales ocultos, incluyendo mineralización epitermal LS. Es aplicable como una herramienta de seguimiento para chequear anomalías de sensores remotos (geofísicas) donde la geoquímica convencional es inadecuada.

REFERENCIAS

Ecuador y los Andes del Norte

1 Aspden, J. A., Bonilla, W. & Duque, R. (1995) The EI Oro metamorphic complex, Ecuador: geology and economic mineral deposits. British Geological Survey, Overseas Geology and Mineral Resources, No. 67.

2 Aspden, J. A., McCourt, W. J. & Brook, M. (1987) Geometrical control of subduction-related magmatism: The Mesozoic and Cenozoic plutonic history of western Colombia. Journal of the Geological Society of London, 144, 893-905.

3 Baldock, J. W. (1982) Geología del Ecuador. Boletín de la Explicación del Mapa Geológico (1:1000000) de la República del Ecuador. Ministerio de Recursos Naturales y Energéticos, Quito, 54 p.

4 Billingsley, R. (1926) Geology of the Zaruma Gold district of Ecuador. Am. Inst. Min. Met. Eng., 74, 255-275.

5 BRGM-CODIGEM (1992) Cooperación Franco-Ecuatoriana en el Campo Minero, 289p., 2 anexos.

6 Comisión Asesora Ambiental (1994) Políticas Básicas Ambientales del Ecuador. Decreto 1802 del 1 de Junio de 1994 publicado en el Registro Oficial 456 del 7 de Junio de 1994.

7 Egüez, A. & Aspden, J. A. (1993) The Mesozoic-Cenozoic evolution of the Ecuadorian Andes. Proceedings of the Second ISAG Meeting, Oxford. 179-181.

8 Gemuts, I., López, G. & Jiménez, E. (1992) Gold deposits of Southern Ecuador. Newsletter of the Society of Economic Geologists, 67, 469-480.

9 Goossens, P. J. (1969) Mineral Index map, Republic of Ecuador. Scale 1:1,000,000. UN-DGGM. Quito, Ecuador.

10 Goossens, P. J. (1972. Metallogeny in Ecuadorian Andes. Econ. Geol., 67, 458-468.

11 INEMIN-Misión Belga (1988) Inventario, clasificación y metalogenia de las mineralizaciones polimetálicas en el Ecuador (no publicado).

12 Jaillard, E., Soler, P., Carber, G. & Mourier, T. (1990) Geodynamic evolution of the northern and central Andes during early to middle Mesozoic times: A Tethyan model. Journal of the Geological Society of London, 147, 1009-1022.

13 Jaillard, E., Benítez, S. & Masele, G. H. (1997) Les déformationes paléogenes de la zone d'avant are sud-équatoriennes en relation avec l'évolution géodynamique. Bulletin de Société Géologique de France, 168, 403-412.

14 Jemielita, R. A. & Bolaños, J. (1993) Mineralization, mineral potential and metallogenesis of the Cordillera Real of Ecuador. Final report of the results of the Economic Geology Survey of the Cordilleras Real Geological Project, 1991-1993. ODA/BGS-MEM/ CODIGEM.

15 Litherland, M., Aspden, J. A. & Jemíelita, R. A. (1994) The metamorphic belts of Ecuador, British Geological Survey Overseas Memoir 11, 147p.

16 MEM-PRODEMINCA (2000) Proyecto de Desarrollo Minero y Control Ambiental (PRODEMINCA) Subcomponente 3.5: Evaluación de Distritos Mineros del Ecuador. Ministerio de Energía y Minas, Ecuador.

a. Resumen de los estudios y resultados (Vol. 1.)

b. Depósitos epitermales en la Cordillera Andina (Vol. 2).

c. Depósitos de sulfuros masivos alojados en volcanitas en la Cordillera Andina (Vol. 3).

d. Depósitos porfídicos y epi-mesotermales relacionados con intrusiones de las Cordilleras Occidental y Real (Vol. 4).

e. Depósitos porfídicos y epi-mesotermales relacionados con intrusiones de la Cordillera El Cóndor (Vol. 5).

17 Mulshaw, S. C., Puig, C., Spiro, B. & Buchanan, D. L. (1997) Genesis of Epizonal Ag vein mineralization at San Bartolomé in Central Ecuador: textural evidence, fluid inclusions and stable isotope geochemistry. Econ. Geol., 92, 210-227.

18 Ortiz, F. (1990) Massive Sulfides in Colombia. In: L. Fontboté, G. C. Amstutz, M. Cardozo, E. Cedilla & J. Frutos (eds.), Stratabound Ore Deposits in the Andes. 379- 387.

19 Paladines, A. (1988) Zonificación geotectónica y Metalogenia del Ecuador, Quito.

20 Paladines, A. & San Martin, H. (1980) Mapa metalogénico del Ecuador, escala 1:1000000, DGGM, Quito.

21 Paladines; A. & Rosero, G. (1996) Zonificación rnineralogénica del Ecuador. Laser Editores. Quito. p 146.

22 Pillajo, E. (1997) Ríos auríferos en Ecuador. Minería Ecuatoriana No. 4., 30-34.

23 Pillajo, E. & Baez, N. (1983) Mapa del potencial aurífero aluvial de la República del Ecuador (Alluvial gold potential map of Ecuador) DGGM, Quito (Unpub.).

24 Pratt, W. T., Figueroa, J. F. & Flores, B. O. (1997) Geology of the Cordillera Occidental of Ecuador between 3°00’ and 4°00’ S. Proyecto de Desarrollo Minero y Control Ambiental (PRODEMINCA), Programa de Información y Cartografía Geológica (PICG) Report No. 1, CODIGEM-BGS.

25 Sillitoe, R. H. (1988) Epochs of intrusion-related copper mineralization in the Andes. Journal of South American Earth Sciences, 1, 89-108.

26 Sillitoe, R. H. (1992) Area Santa Isabel. Informe no publicado para COMINECSA.

27 UNDP (1969) Survey of metallic and nonmetallic minerals. Technical Reports, UN Development Programme, New York, Nos 1-5.

28 UNDP (1972) Survey of metallic and nonmetallic minerals (Phase 2). Technical Reports, UN Development Programme, New York, Nos 10-19.

29 Van Thournout, F., Valenzuela, G., Merlyn M., & Salemink, J. (1991) Portovelo, mineralización epitermal en relación con una caldera riolítica. Boletín Geológico Ecuatoriano; 2, 13-26.

30 Van Thournout, F., Salemink, J., Valenzuela, G., Merlyn, M., Boven, A. & Muchez, P. (1996) Portovelo: a volcanic-hosted epithermal vein-system in Ecuador, South America. Mineralium Deposita 31, 269-276.

31 Williams, T. M., Gaibor, A. & Dunkley, P. N. (1997) Geochemical reconnaissance survey of the Cordillera Occidental of Ecuador between 2°00' and 3°00' South. PRODEMINCA, Programa de Información y Cartografía Geológica (PICG), Report No. 7.

32 Williams, T. M., Gaibor, A. & Dunkley, P. N. (1998) Geochemical reconnaissance survey of the Cordillera Occidental of Ecuador between 3°00' and 4°00' South. PRODEMINCA, Programa de Información y Cartografía Geológica (PICG), Report No. 8.

Referencias generales

33 Cox, D. P. (1986) (a) Descriptive model of Porphyry Cu-Au (20c), 110-114; (b) Descriptive model of Porphyry Cu-Au (21a), 115-199; (e) Descriptive model of Besshi massive sulfide (24b), 136-138. In: D. P. Cox and D.A. Singer (eds.), Mineral Deposit Models, U.S. Geological Survey Bulletin 1693, 136.

34 Einaudi M. T. Meinert, L. D. & Newberry, R. J. (1981) Skarn Deposits. Economic Geology: 75th Anniversary Vol. 95, 317-391.

35 Ericksen, O. E. & Cunningham, C. G. (1993) Epithermal precious-metal deposits hosted by the Neogene and Quaternary volcanic complex in the Central Andes. In: R. V. Kirkham, W. D. Sinclair, R. I. Thorpe and J. M. Duke (eds.), Mineral Deposit Modeling: Geol. Assoc. Canada, Special Paper 40, 419-431.

36 Gustafson, L. B. & Hunt, J. P. (1975) The Porphyry Copper Deposit of El Salvador, Chile. Econ. Geol., 70, 857-912.

37 Held, P., Foley, N. K. & Hayba, D. O. (1987) Comparative anatomy of volcanic-hosted epithermal deposits: Acid-sulfate and adularia-sericite types. Econ. Geol. 82, 1-26.

38 Hedenquist, J. W., Izawa, E., Arribas, A. & White, N. C. (1996) Epithermal gold deposits: Styles, characteristics and exploration. Resource Geology Special Publication No. 1, Society of Resource Geology, Komiyama Printing Co. Ltd., Tokyo.

39 Hoy, T. (1996) (a) Besshi Massive Sulphide (G04); (b) Cyprus Massive Sulphide Cu (Zn) (G05); (c) Noranda/Kuroko Massive Sulphide Cu-Pb-Zn (G06). In: D. V. Lefebure and G. E. Ray (eds.), Selected British Columbia Mineral Deposit profiles, 1, Metallics and Coal. British Columbia Ministry of Energy, Mines and Petroleum Resources, Open File 1995-20, 49-54.

40 McMillan, W. J. & Pantaleyev, A. (1988) Porphyry Copper Deposits. In: R. G. Roberts and P. A. Sheahan (eds.), Ore Deposit Models: Geoscience, Canada Reprint Series 3, Geol. Assoc. Canada, 45-58: also in: Geoscience Canada, 7, No. 2, 52-63.

41 Meinert, L. D. (1992) Skarns and skarn deposits. Geoscience, Canada, 19; 145-162.

42 Meinert, L. D. (1997) Applications of skarn deposit zonation models to mineral exploration. Exploration Mining Geology, 6, 185-208.

43 Meinert, L. D. (1998) A review of skarns that contain gold. In: Mineralized intrusion-related skarn systems. D. R. Lentz (ed.), Short Course Handbook 26, 359-414, Mineralogical Association of Canada, Ottawa, ON, Canada.

44 MEM (1996) Minería y Energía en el Perú. Ministerio de Energía y Minas, Lima, Perú. Fimart S. A. (eds. & publ).

45 Mittermeier, R., Robles, P. & Goettsch, C. (1997) Megadiversidad (Megadiversity). Conservation International – Cemex.

46 Panteleyev, A. (1995) Porphyry Cu-Au: (alkalic) (b) Porphyry Cu ± Mo ± Au. In: D. V. Lefebure and G. E. Ray (eds.), Selected British Columbia Mineral Deposit profiles, 1, Metallics and Coal. British Columbia Ministry of Energy, Mines and Petroleum Resources, Open File 1995-20, 83-91.

47 Pilger, R. H. (1983) Kinematics of the South American subduction zone from global plate reconstructions. Geodynamics of the Eastern Pacific Region, Caribbean and Scotia Arcs. Am. Geophys. Un. Geodynamics Ser. 9, 113-126.

48 Sawkins, F. J. (1976) Massive sulphide deposits in relation to geotectonics. In: D. F. Strong (ed.), Metallogeny and Plate tectonics, Geol. Assoc. Canada, Special Paper 14, 221-240.

49 Sillitoe, R. H. (1993) Epithermal models: Genetic types, geometrical controls and shallow features. In: R.V. Kirkham, W. D. Sinclair, R. I. Thorpe and J. M. Duke (eds.), Mineral Deposit Modeling: Geol. Assoc. Canada, Special Paper 40, 403-417.

50 Singer, D. A. (1986) (a) Descriptive model of Cyprus massive sulfide p. 131-135; (b) Descriptive model of Kuroko massive sulfide p. 189-190. In: D. P. Cox and D. A. Singer (eds.), Mineral Deposit Models, U. S. G. S. Bulletin 1693.

51 Singer, D. A. (1992) Grade and tonnage of Sierran-Kuroko Deposits. In: J. D. Bliss (ed.), Developments in Deposit Modeling, U. S. Geological Survey, Bulletin 2004, 29-32.

52 Somoza, R. (1998) Updated Nazca (Farallon)-South America relative plate motions during the last 40 My: implications for mountain building in the central Andean region. Journal of South American Earth Sciences, 11, 211-216.

53 Sutherland Brown, A. (ed.) (1976) Porphyry Deposits of the Canadian Cordillera. Canadian Institute of Mining and Metallurgy, Special Vol. 15, 510p.

54 Titley, S. R. (1993) Characteristics of Porphyry Copper Occurrence in the American Southwest. In: R. V. Kirkham, W. D. Sinclair, R. I. Thorpe and J. M. Duke (eds.), Mineral Deposit Modeling: Geological Association of Canada: Special Paper 40, 433-464.

JUNIO 2000